



Universidad
Zaragoza

Trabajo de Fin de Grado

Análisis de la dinámica del uso / ocupación del suelo
en el entorno de la Sierra de Alcubierre
mediante teledetección – 1956-2019

Autor

Javier Ignacio Lacambra Escobedo

Director

Juan de la Riva Fernández

Noviembre de 2020



Facultad de
Filosofía y Letras
Universidad Zaragoza



Departamento de
Geografía y
Ordenación del Territorio
Universidad Zaragoza

Agradecimientos

A mis padres, hermano y abuelos por la paciencia interminable, la insistencia (a veces más que necesaria) y el interés y la ayuda proporcionada para que completase, de una vez por todas, el desarrollo de este trabajo.

A mi tutor, por haber aceptado dirigir este trabajo y haber conseguido que, a pesar de tantas dudas y desconocimiento, haya conseguido ver en la Teledetección uno de los campos más interesantes y apasionantes de la Geografía.

Y, por último, a la pequeña familia que he construido por el camino.

Muchas gracias a todos vosotros.

Resumen

Las transformaciones vividas en el entorno del medio rural debido a los procesos de cambio y las alteraciones propias del paso del tiempo han dejado una impronta tan importante como para que no haya pasado desapercibida. Sin embargo, estas alteraciones en el paisaje, la estructura del suelo, el parcelario... y un largo etcétera de elementos presentes en dicho medio, rara vez han sido puestas en valor más allá de una simple comparativa fotográfica a ras de suelo o la referencia escrita en cualquiera de los textos e informes relativos a ello.

Estas transformaciones fueron registradas en un primer momento gracias a la realización de vuelos fotográficos, utilizando posteriormente sensores fotográficos en los satélites que permitían la observación en alta resolución de la superficie terrestre. Por ello, el empleo de la teledetección es tan importante en nuestros días, y de este modo se convierte en el elemento central del presente trabajo.

Para poder establecer comparaciones, se realizará un proceso de análisis de cambios de usos del suelo, con especial incidencia en las alteraciones paisajísticas y en la modificación o distribución del parcelario, a través de una fotointerpretación de imágenes aéreas con la ayuda de un SIG, estableciendo una serie temporal que abarca desde el vuelo americano Serie B (1956-1957) hasta el PNOA de 2018.

Palabras clave: uso – ocupación de suelo; estructura parcelaria; teledetección; SIG; fotointerpretación; índices espectrales; imágenes Landsat; Sierra de Alcubierre.

Abstract

The rural environment has suffered processes of change and many transformations due to the passage of time. These processes have left an imprint so important enough that they haven't been overlooked. However, these alterations in the landscape, the structure of the soil, the parcel... and a long list of elements present in said environment, have rarely been valued beyond a simple photographic comparison at ground level or the testimony of the facts in any of the texts and reports relating to it.

These transformations have been registered since the beginning of the last century due to the realization of flights, which gave the witness to the use and implementation of photographic sensors in the different high resolution observation programs of the Earth's surface put into orbit in more recent decades.

In this finally degree project, a process of analysis of changes in land use will be carried out, with special emphasis on landscape alterations and on the modification or distribution of the parcel, through a photointerpretation of aerial images with the help of a GIS, establishing a time series ranging from the American flight Series B (1956-1957) to the PNOA of 2018.

Key words: land use – land cover; plot structure; Remote Sensing; GIS; photo-interpretation; spectral indices; Landsat imagery; Sierra de Alcubierre.

Índice general

1.	Introducción	1
2.	Zona de estudio	1
2.1.	Génesis y geomorfología	4
2.2.	Factores climáticos	4
2.3.	Vegetación y fauna	5
3.	Objetivos y metodología	7
3.1.	Objetivos	7
3.2.	Metodología	7
3.2.1.	Vuelos fotográficos utilizados	8
3.2.2.	Fotointerpretación	12
3.2.3.	Escala de trabajo y unidad mínima cartografiable	13
3.2.4.	Leyenda	13
3.2.5.	Imágenes de satélite utilizadas	16
4.	Resultados y discusión	20
4.1.	Series temporales	20
4.1.1.	Vuelo americano de 1956-1957	20
4.1.2.	Vuelo Nacional 1980-1986	21
4.1.3.	Plan Nacional de Ortofotografía Aérea 2018	21
4.2.	Corine Land Cover 2018 y SIGPAC	24
4.2.1.	Corine Land Cover 2018	24
4.2.2.	SIGPAC	33
4.3.	Análisis de teledetección	34
4.3.1.	Composiciones de color	34
4.3.2.	NDVI	38
4.3.3.	Composiciones Tasseled Cap	40
4.4.	Estudio de caso sobre cuadrículas en las series temporales	46
4.4.1.	Cuadrícula 1: Zona de llanura (regadío)	46
4.4.2.	Cuadrícula 2: Zona de Sierra	55
4.4.3.	Cuadrícula 3: Zona de transición (secano)	64
5.	Conclusiones	71
6.	Bibliografía	74

Índice de figuras

Figura 1: Mapa de la zona de estudio	2
Figura 2: Mapa de la zona de estudio - Municipios.....	3
Figura 3: Mapa de la zona de estudio - Altimetría	3
Figura 4: Mapa de la zona de estudio - Imágenes del PNOA 2018	12
Figura 5: Mosaico del vuelo americano serie B 1956-1957	20
Figura 6: Mosaico del vuelo nacional de 1980-1986.....	21
Figura 7: Imagen del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea 2018	22
Figura 8: Mapa de usos del suelo de la Sierra de Alcubierre (nivel 1)	22
Figura 9: Mapa de usos del suelo de la Sierra de Alcubierre (nivel 2)	23
Figura 10: Mapa de usos del suelo de la Sierra de Alcubierre (nivel 3)	23
Figura 11: Mapa de clasificación del parcelario de la Sierra de Alcubierre	34
Figura 12: Composición de color IF para vegetación en los años 1985 y 2019	35
Figura 13: Composición de color para agricultura en los años 1985 y 2019	36
Figura 14: Composición de color para agua y usos del suelo en los años 1985 y 2019	37
Figura 15: Composición de color para vegetación sana en los años 1985 y 2019	37
Figura 16: Diferencia del NDVI promedio para los años 1985-1989 y 2015-2019	38
Figura 17: Composición RGB del NDVI entre período de 1985-1989 y 2015-2019.....	39
Figura 18: Variación del brillo promedio para los años 1985-1989 y 2015-2019	41
Figura 19: Composición RGB brillo entre períodos 1985-1989 y 2015-2019	41
Figura 20: Variación del verdor promedio para los años 1985-1989 y 2015-2019	42
Figura 21: Composición RGB Verdor entre períodos 1985-1989 y 2015-2019	43
Figura 22: Variación de la humedad promedio para los años 1985-1989 y 2015-2019	43
Figura 23: Composición RGB humedad entre períodos 1985-1989 y 2015-2019	44
Figura 24: Variación de promedios de Tasseled Cap entre períodos 1985-1989 y 2015-2019	45
Figura 25: Composición RGB de promedios TTC entre períodos 1985-1989 y 2015-2019	45
Figura 26: Cuadrícula 1 del vuelo americano serie B 1956-1957	47
Figura 27: Cuadrícula 1 del vuelo americano con CLC 2018	47
Figura 28: Cuadrícula 1 del vuelo americano con SIGPAC.....	48
Figura 29: Cuadrícula 1 del vuelo nacional 1980-1986	48
Figura 30: Cuadrícula 1 del vuelo nacional con CLC 2018.....	49
Figura 31: Cuadrícula 1 del vuelo nacional con SIGPAC	49
Figura 32: Cuadrícula 1 del PNOA 2018	51
Figura 33: Cuadrícula 1 del PNOA 2018 con CLC 2018	51
Figura 34: Cuadrícula 1 del PNOA 2018 con SIGPAC	52

Figura 35: Cuadrícula 1 de Teledetección 1985 y 2019 con 4/3/2 y 5/4/3	53
Figura 36: Cuadrícula 1 de Teledetección 1985 y 2019 con 4/5/1 y 5/6/2	53
Figura 37: Cuadrícula 1 de Teledetección 1985 y 2019 con 4/5/3 y 5/6/4	54
Figura 38: Cuadrícula 1 de Teledetección 1985 y 2019 con 5/4/1 y 6/5/2	55
Figura 39: Cuadrícula 2 del vuelo americano serie B 1956-1957	56
Figura 40: Cuadrícula 2 del vuelo americano con CLC 2018	56
Figura 41: Cuadrícula 2 del vuelo americano con SIGPAC.....	57
Figura 42: Cuadrícula 2 del vuelo nacional 1980-1986	57
Figura 43: Cuadrícula 2 del vuelo nacional con CLC 2018.....	58
Figura 44: Cuadrícula 2 del vuelo nacional con SIGPAC	58
Figura 45: Cuadrícula 2 del PNOA 2018	59
Figura 46: Cuadrícula 2 del PNOA 2018 con CLC 2018	60
Figura 47: Cuadrícula 2 del PNOA 2018 con SIGPAC	60
Figura 48: Cuadrícula 2 de Teledetección 1985 y 2019 con 4/3/2 y 5/4/3	61
Figura 49: Cuadrícula 2 de Teledetección 1985 y 2019 con 4/5/1 y 5/6/2	61
Figura 50: Cuadrícula 2 de Teledetección 1985 y 2019 con 4/5/3 y 5/6/4	62
Figura 51: Cuadrícula 2 de Teledetección 1985 y 2019 con 5/4/1 y 6/5/2	63
Figura 52: Cuadrícula 3 del vuelo americano serie B 1956-1957	63
Figura 53: Cuadrícula 3 del vuelo americano con CLC 2018	64
Figura 54: Cuadrícula 3 del vuelo americano con SIGPAC.....	65
Figura 55: Cuadrícula 3 del vuelo nacional 1980-1986	65
Figura 56: Cuadrícula 3 del vuelo nacional con CLC 2018.....	66
Figura 57: Cuadrícula 3 del vuelo nacional con SIGPAC	66
Figura 58: Cuadrícula 3 del PNOA 2018	67
Figura 59: Cuadrícula 3 del PNOA 2018 con CLC 2018.....	67
Figura 60: Cuadrícula 3 del PNOA 2018 con SIGPAC.....	68
Figura 61: Cuadrícula 3 de Teledetección 1985 y 2019 con 4/3/2 y 5/4/3	69
Figura 62: Cuadrícula 3 de Teledetección 1985 y 2019 con 4/5/1 y 5/6/2	70
Figura 63: Cuadrícula 3 de Teledetección 1985 y 2019 con 4/5/3 y 5/6/4	70
Figura 64: Cuadrícula 3 de Teledetección 1985 y 2019 con 5/4/1 y 6/5/2	71

Índice de ilustraciones

Ilustración 1: Climograma de Alcubierre	5
Ilustración 2: Fijación de puntos de control y valor residual	10
Ilustración 3: Ejemplo de georreferenciación de imagen y toma de puntos de control	10
Ilustración 4: Leyenda Corine Land Cover 2018	14
Ilustración 5: Tabla descriptiva del SIGPAC	15
Ilustración 6: Tabla descripción de uso del SIGPAC	15
Ilustración 7: Relación de imágenes Landsat 5 y Landsat 8 para períodos de estudio 1985-1989 y 2015-2019	17
Ilustración 8: Selección de imágenes Landsat 5 y Landsat 8 para períodos de estudio 1985-1989 y 2015-2019	18
Ilustración 9: Composiciones RGB para imágenes Landsat 5	18
Ilustración 10: Composiciones RGB para imágenes Landsat 8	18
Ilustración 11: Coeficientes para Tasseled Cap en Landsat 5 (Crist, Laurin y Cicone, 1986)	19
Ilustración 12: Coeficientes para Tasseled Cap en Landsat 8 (Baig et al., 2014)	19
Ilustración 13: Municipio de Leciñena	24
Ilustración 14: Municipio de Torralba de Aragón.....	25
Ilustración 15: Zona industrial en el municipio de Grañén	25
Ilustración 16: Secano en Torralba de Aragón	27
Ilustración 17: Regadío en Torralba de Aragón.....	27
Ilustración 18: Arrozal en Almuniente	27
Ilustración 19: Frutales en Leciñena.....	28
Ilustración 20: Olivar en Almudévar	28
Ilustración 21: Mosaico de cultivos en Leciñena.....	29
Ilustración 22: Terrenos principalmente agrícolas, pero con importantes espacios de vegetación natural y semi-natural en Torralba de Aragón.....	29
Ilustración 23: Bosque de frondosas en Zuera	30
Ilustración 24: Bosque de coníferas en Alcubierre.....	31
Ilustración 25: Bosque mixto en Leciñena	31
Ilustración 26: Pastizal en Sangarrén	31
Ilustración 27: Matorrales esclerófilos en Torralba de Aragón	32
Ilustración 28: Matorral boscoso de transición en Alcubierre	32
Ilustración 29: Barranco en Alcubierre.....	33
Ilustración 30: Humedales salinos de Leciñena.....	33

1. Introducción

La Sierra de Alcubierre es uno de los enclaves con mayor biodiversidad de Europa. Esta formación de origen terciario se encuentra clasificada como una de las sierras características del relieve modular en la depresión del Ebro. Es por ello que, debido al carácter aislado de este sistema, podemos intuir que encontraremos diferentes elementos morfológicos, condiciones climáticas y sistemas naturales, notablemente influenciados por la disposición orográfica del punto en el que nos encontremos realizando cualquier análisis. Sin embargo, dada la importante extensión geográfica de la Sierra de Alcubierre, nos centraremos en la mitad occidental, trazando un sector que abarcará poblaciones como Tardienta; Torralba de Aragón; Senés de Alcubierre; Robres; Alcubierre; Lanaja; Grañén; Almuniente; Torres de Barbués; Barbués; Leciñena; Perdiguera y Farlete.

En el presente trabajo se tratará de realizar un estudio centrado en los cambios en los usos del suelo, con especial incidencia en la modificación de la estructura parcelaria y paisajística. Debido a los procesos de mecanización y la progresiva introducción del regadío en la zona (fundamentalmente gracias a la construcción del Canal de Los Monegros), la evolución en la distribución del paisaje agrario cobra sentido, además, con la creación de núcleos urbanos en el medio (pueblos de colonización) los cuales, además de los presentes desde tiempos anteriores, tendrán su pequeña parte de protagonismo a la hora de realizar los pertinentes análisis.

Sin embargo, no solo el paisaje parcelario centrará nuestro análisis. La importante masa forestal que alberga la Sierra de Alcubierre y los procesos de modificación y alteración que ha vivido en los últimos siglos por acción antrópica también será un importante elemento a estudiar. Se aprecia claramente un patrón de vegetación atípico, con una mayor población vegetal al Sur con respecto al Norte, cuando debería ser al contrario si atendemos a la disposición de laderas (solana y umbría).

Por ello, la evolución de cualquier elemento que suponga una transformación paisajística acontecida en la zona de estudio, se verá traducida en la serie temporal de imágenes, lo que nos permitirá establecer el grado e impacto de dicha evolución, permitiendo extrapolar o no las conclusiones extraídas al resto de espacios que serán objeto de estudio. Paralelo a ello, se realizará un análisis multitemporal de imágenes Landsat, que facilitará la visualización de la evolución de la vegetación.

No se encuentran muchos Trabajos Fin de Grado con características similares en la zona, de ahí que sea tan relevante para la aportación académica. Debido a la amplitud de la serie temporal y a la extensión geográfica de la zona de estudio, es importante entablar cierta asociación y relación con el resto de bibliografía similar publicada. Trabajos similares son los realizados por Valvanera Gil Gascón (2000): "Transformaciones paisajísticas ligadas a la puesta en riego en la zona de la Violada", en el que realiza un estudio de los cambios en el parcelario debido a procesos de concentración parcelaria y creación de pueblos de colonización, así como el realizado por Daniel Moncayola Laviña (2018): "Cambios en los usos del suelo y en el parcelario agrícola en el sureste de Monegros. Análisis mediante fotointerpretación 1927-2015", en el que se describe un estudio de cambio en el parcelario agrícola y en la evolución de las lagunas saladas presentes en los municipios de Bujaraloz, Peñalba o Sástago (entre otros) a través de la fotointerpretación de imágenes tomadas desde el vuelo aéreo de 1927 realizado por la Confederación Hidrográfica del Ebro hasta las imágenes de satélite tomadas para la realización del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea de 2018.

2. Zona de estudio

Nos encontramos ubicados en la Comarca de Los Monegros, concretamente en el entorno de la Sierra

de Alcubierre. Nuestra zona de estudio queda encuadrada en una superficie de unos 862,72 km² (casi una tercera parte de lo que supone toda la comarca -2764,4 km²-), en la zona occidental de la misma, limitando con las comarcas de la Hoya de Huesca y la Central de Zaragoza.

Debido a la extensión de la misma, más adelante serán elegidas tres zonas de dimensiones más reducidas para poder llevar a cabo un estudio más concreto (de 25 km² de superficie cada una de ellas). Esta elección no es aleatoria, sino que busca poder analizar de forma individualizada cada uno de los tres principales espacios que podemos encontrar en este entorno: sierra; zona de transición (secano) y llanura (regadío).

La zona de Sierra, de gran magnitud, se extiende a lo largo de 30 km en nuestra zona de estudio (para un total de cuarenta). En este espacio se alternan cultivos de secano con vegetación natural. Es la transición y cambio durante los últimos años entre estos dos elementos lo que determina su selección como objeto de estudio. Su límite se encuentra bien definido.

La zona de transición entre la Sierra y la llanura se extiende en ambas vertientes. Generalmente, representa una superficie casi exclusivamente dedicada a los cultivos de secano, aunque podemos encontrar pequeños espacios de vegetación natural, humedales y pequeños espacios de regadíos (asociados a poblaciones ubicadas en esta unidad). El límite queda comprendido entre las estribaciones y la zona de regadío.

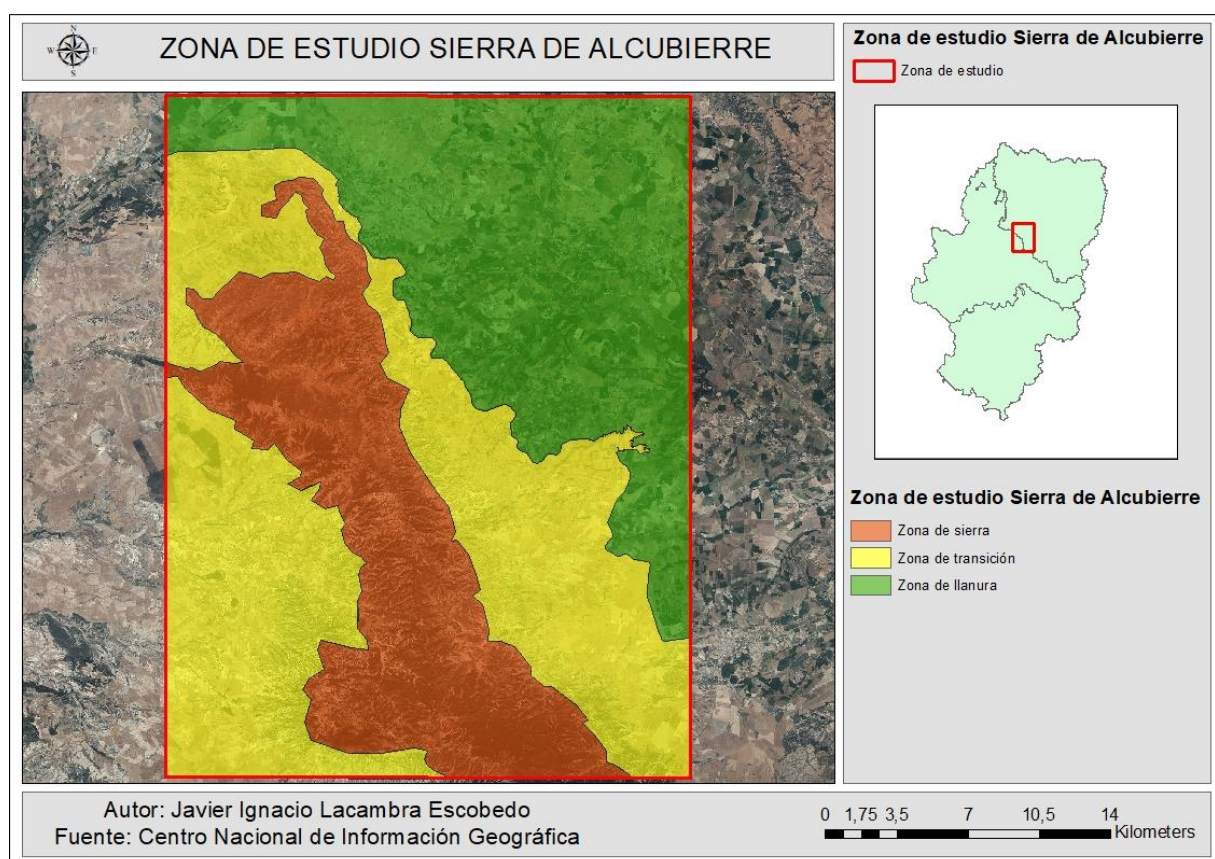


Figura 1: Mapa de la zona de estudio. Incluye la segmentación de las diversas zonas a trabajar.
Fuente: CNIG. Elaboración propia.

La llanura recoge una importante superficie de regadío, combinada con zonas muy reducidas de secano y de vegetación natural. En este espacio podemos encontrar la mayor parte de los municipios existentes en la zona de estudio, así como las infraestructuras asociadas a los mismos. Se extiende hacia el Norte, generalmente a partir de la línea que dibuja el Canal de Los Monegros.

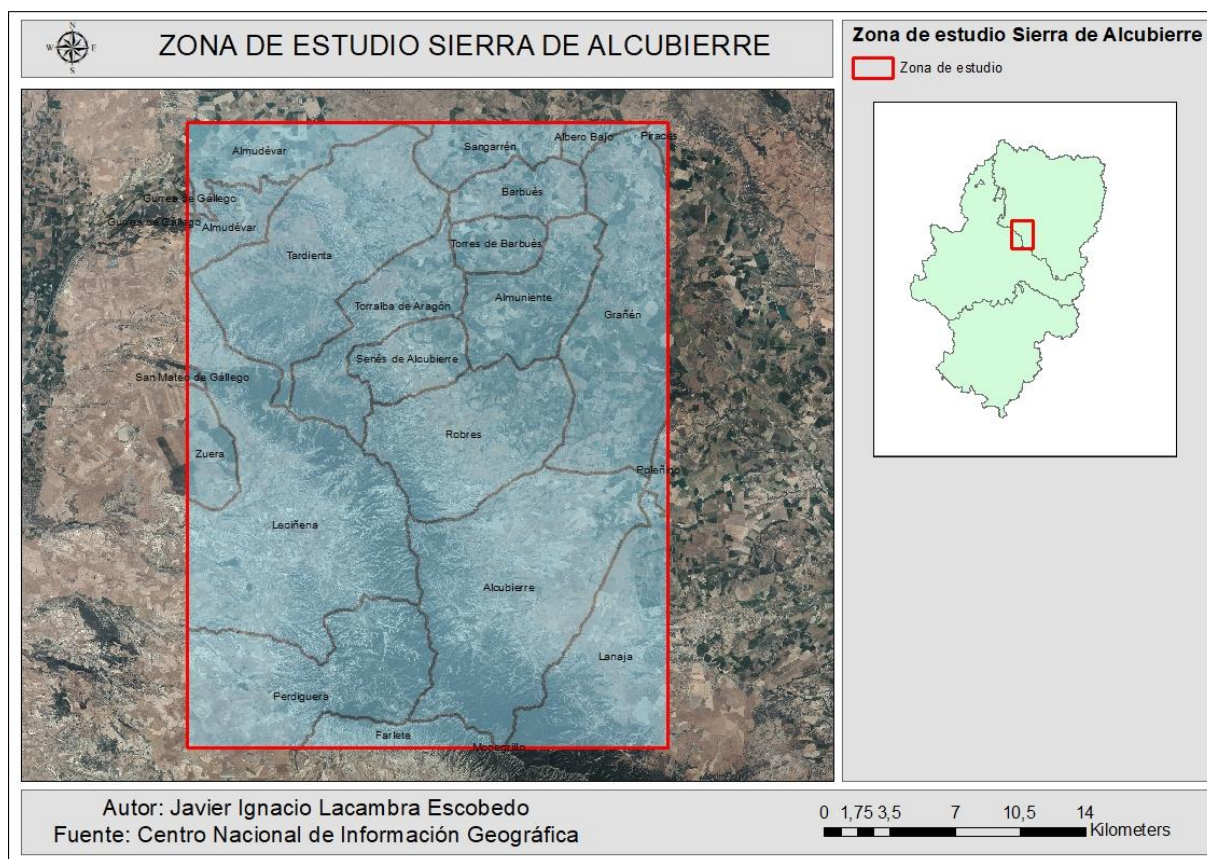


Figura 2: Mapa de la zona de estudio - Municipios. Fuente: CNIG. Elaboración propia.

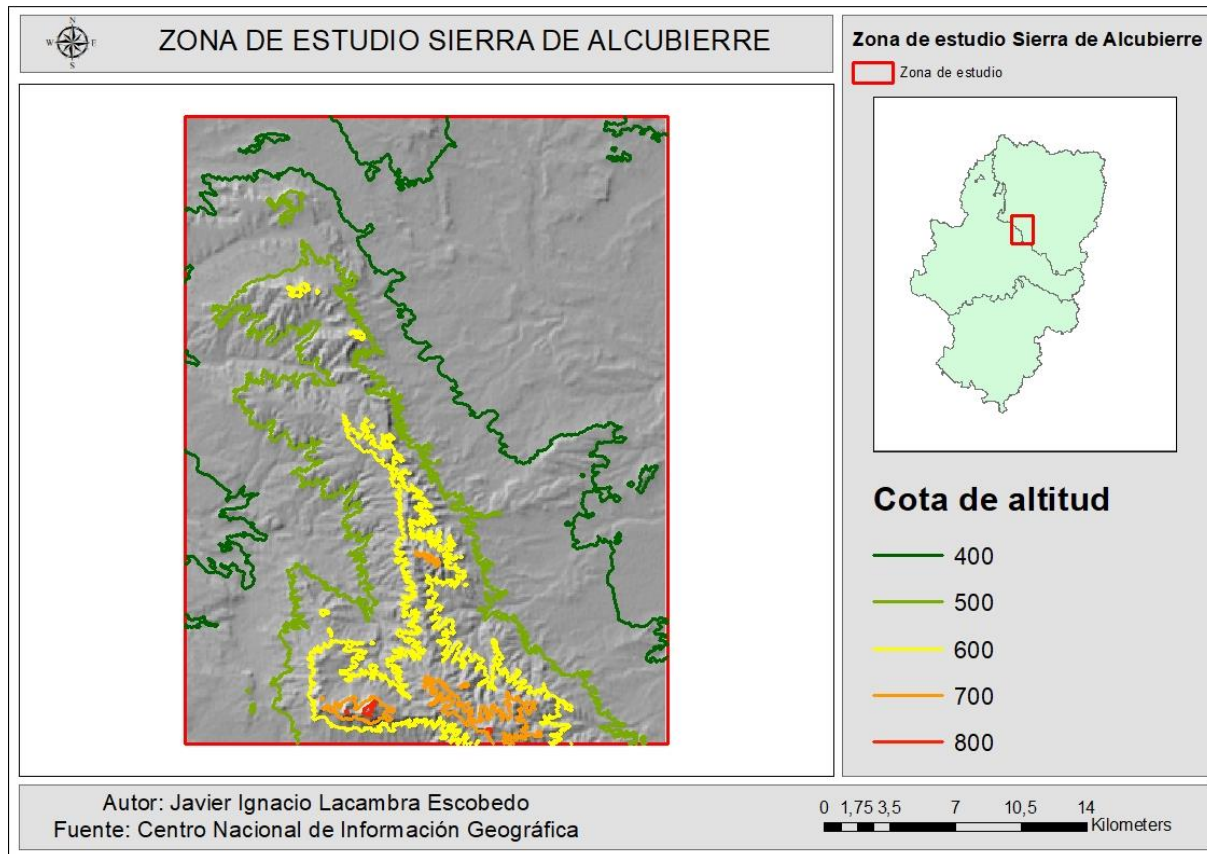


Figura 3: Mapa de la zona de estudio - Altimetría. Fuente: CNIG. Elaboración propia.

2.1. Génesis y geomorfología

La Sierra de Alcubierre se encuentra en lo que llamamos como unidad de relieve de la Depresión del Ebro, que forma un valle constituido por una amplia fosa tectónica, originada por erosión a finales del Terciario. Antes de la Orogenia Alpina, lo que hoy conocemos como Depresión del Ebro formaba el macizo del Ebro, el cual sufrió un hundimiento en dicho proceso. Las sierras exteriores actuales se elevaron, quedando una configuración aproximada a la actual, ya que no quedó completamente cerrada. Progresivamente, al final del Eoceno, queda sellada del Atlántico, dando lugar a una cuenca de carácter endorreico.

La Serra de Alcubierre es un extenso e importante relieve estructural, de más de 40 km de longitud, compuesto por plataformas tabulares formadas por erosión diferencial (basculadas hacia el norte) y taludes (en la franja meridional y occidental) de naturaleza más deleznable (arcillas, margas y yesos), moduladas de manera importante por la existencia de una densa red de barrancos. Encontramos una distribución de materiales en la que existe un dominio de rocas carbonatadas en el primer estrato (calizas, areniscas y algún conglomerado), seguido por una variación de capas litológicas blandas y duras. La presencia de este tipo de materiales queda ligada al aparato sedimentario lacustre, que ha permanecido prácticamente inalterado por accidentes tectónicos (pliegues y fallas), habiendo sido modelada en gran parte por agentes naturales, dando lugar a una configuración de relieve con formas características tales como barrancos; cárcavas; llanos; relieves tabulares; valles de fondo plano, etc., siendo muy importante la acción hídrica erosiva (que nos da paisajes muy típicos de la zona).

La Sierra se ubica entre las cuencas del Gállego, Flumen y del Alcanadre, actuando como divisoria de las cuencas del Gállego y del Flumen. Más allá de la propia Sierra, si nos aventuramos hacia el Norte, podemos encontrar formaciones como los “torrollones”, que son una serie de montículos creados por erosión diferencial, principalmente por la acción de agentes como viento y agua sobre sedimentos que, hace millones de años, constituyeron el lecho del fondo del mar.

2.2. Factores climáticos

Nos encontramos en una zona con clima catalogado como semiárido, en el cual se dan escasas precipitaciones y altas temperaturas estivales. En nuestro caso, al estar ubicada en el centro de la depresión del Ebro, sufre el efecto Foehn (calentamiento adiabático produce viento cálido y seco) desde la cordillera Ibérica, Pirineos y cordilleras catalanas, lo que contribuye a alterar los regímenes de lluvias del W-NW y E. Por ello, obtenemos un régimen de escasas precipitaciones, con máximos en los periodos equinociales y mínimos en invierno y verano, con temperaturas elevadas durante el periodo estival y relativamente bajas en invierno (importante oscilación térmica anual). La aridez es un factor destacable durante todo el año, siendo muy negativo el balance precipitación-evapotranspiración.

Al norte de la Sierra de Alcubierre podemos encontrar registros de precipitación ligeramente por encima de los 400 mm anuales, siendo inferiores en el sur de la sierra. Este patrón se reproduce en la vegetación y progreso de la misma a lo largo de la formación, con excepción de los términos municipales más al NO.

La máxima variabilidad se alcanza en la parte noroccidental, donde la secuencia de lluvias anuales permite calcular coeficientes de variación interanuales del 33-38 % (Perdiguera, Alcubierre), mientras que en la mitad sur de Monegros oscilan entre el 25 y 30%. La mitad oriental y septentrional, incluida la depresión de Sariñena, presentan una irregularidad interanual cifrada entre el 20 y 25%. Todo ello evidencia que las lluvias, además de escasas, son muy irregulares, dependiendo de la fuerza con que alcanzan los centros ciclónicos atlánticos y mediterráneos, y sobre todo de la mayor o menor presencia

de bajas térmicas durante la época cálida, cuyas fuertes lluvias, en pocas horas, pueden incrementar significativamente el total anual.

El número de días sin precipitación llega a ser el 80% de los anuales y raro es el mes que no haya tenido precipitación nula en la mayoría de la Comarca. Los meses en los que se registra una menor precipitación son Julio y Agosto. A pesar de ello, la Sierra acumula un mayor porcentaje de precipitación que el resto de la Comarca.

Otro aspecto a considerar a la hora de analizar las aportaciones de humedad es la presencia de nieblas. Es frecuente poder observar en los límites de la Sierra la formación de la misma, producida por inversión térmica y condensación de la humedad, quedando libre de ella las cumbres de la Sierra.

La altitud de la Sierra otorga unos valores más bajos que los del resto de la planicie que domina, en la que encontramos una temperatura media anual de 14,5°C.

A la escasez de precipitaciones y fuerte oscilación térmica se suma la acción del viento (cierzo). El cierzo, que tiene dirección NW-SE, hace acto de presencia en una media de 109 días/año, con máxima frecuencia en invierno y primavera, mínima en verano. Al norte de la Sierra de Alcubierre, tiene una menor frecuencia, siendo mayor al sur (por inexistencia de elementos de obstáculo). Es uno de los responsables del modelado de la sierra.

Los valores de evapotranspiración potencial se estiman en cifras que varían entre los 800 y 850 mm/año al sur de la Sierra y algo más elevados al Norte.

Se trata de un clima semiárido, tipo mesotérmico II.

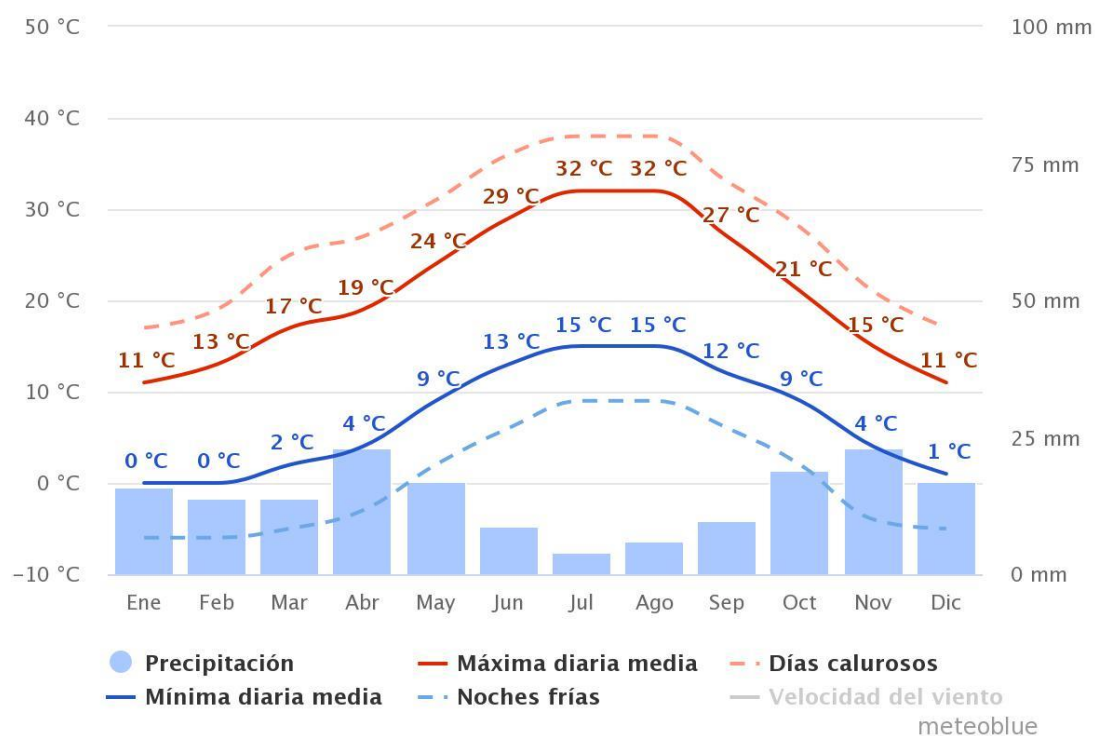


Ilustración 1: Climograma de Alcubierre. Fuente: www.meteoblue.com

2.3. Vegetación y fauna

Los Monegros son un ecosistema singular, maduro, único en Europa, cuya riqueza biológica ha demostrado ser excepcionalmente importante en términos cuantitativos y cualitativos. La biocenosis

documentada de los Monegros sobrepasa las 5.400 especies biológicas, cifra superior a la conocida de cualquier otro hábitat nacional o europeo, presentando el mayor índice de novedades taxonómicas (nuevas especies para la ciencia) de toda Europa. Gracias a ello, la Sierra de Alcubierre ha sido declarada zona LIC y ZEPA, fundamentalmente por el hecho de mantener una importante masa forestal de pino carrasco con sabina albar y matorral gipsófilo en el piedemonte, además de ser refugio y hábitat para diferentes poblaciones de aves.

La Sierra de Alcubierre ha sufrido diferentes procesos de deforestación y repoblación, bien por causas naturales o por la acción antrópica (más habitual). La denominación Monegros, no es casual, ya que existe la creencia acerca de la antigua sobrepoblación de bosques de frondosas, principalmente de *Juniperus thurifera* (sabina) y de *Quercus Ilex* (encina), acompañados por *Quercus faginea* (quejigos), *Arbutus unedo* (madroños) o *Juniperus* (enebros), de ahí el origen del nombre ("Mons negros" en fable aragonesa). Los sucesivos procesos de tala masificada, (industria maderera, aprovechamiento y diseño agrícola...) han ido progresivamente acabando con estas formaciones a lo largo de los años, tratando de ser compensados con reforestaciones de especies como el *Pinus halepensis*, adaptada a las importantes condiciones de sequía de la zona, para evitar la degradación del suelo, y potenciar su recuperación como formación vegetal.

En la base de la Sierra el uso del suelo es agrícola, formando un mosaico de cultivos de secano y áreas naturales y seminaturales. Conforme avanzamos desde el Sur hacia el Norte, observamos la transición desde vegetación algo escasa (dominada por el pino carrasco; la sabina albar y negral; el enebro de la miera; el romero y la efedra) hasta una vegetación mucho más densa con cobertura casi total del suelo en zonas más altas, en la que domina la presencia del pino carrasco (con algo más de espesura) y la de la coscoja, así como la aparición de algunas encinas de bajo porte. En zonas más degradadas o de difícil relieve, se encuentra matorral termófilo. En zonas bajas, existen comunidades gipsícolas.

El pinar ocupa una extensión de 9520,97 ha, representando un 25,58% del total de la superficie. El bosque mixto de pinar con encinas y quejigos ocupa una superficie de 387,67 has, los sabinars 131,07 has y la xeroestepa subdesértica 577,2 ha. La formación vegetal más amplia son los matorrales: grandes formaciones de matorral denso o medianamente denso (2888,27 ha), matorrales subarborescentes o arbustivos muy poco densos (1741,8 ha), matorral boscoso de frondosas (82,15 ha), matorral boscoso de coníferas (3708,22 ha) y matorral boscoso de bosque mixto (276,3 ha).

La masa forestal, presenta un desarrollo evolutivo alto (latizal y fustal), clasificado como de alta calidad su nivel evolutivo, cercano al climático. Los procesos de abandono del medio rural están contribuyendo poco a poco en dicha evolución paisajística.

La fauna es abundante, ya que se trata de un lugar de paso de grandes rutas migratorias de aves, sin olvidarnos de la importante biodiversidad de insectos, arácnidos, reptiles y mamíferos. Es muy frecuente el avistamiento de animales tales como conejos, perdices, rapaces (milanos; águilas; halcones; búhos; alimoches...), así como aves más comunes (tortolas; collalbas...)

La declaración de LIC y ZEPA se entiende gracias a la biodiversidad existente. Algunas especies son: rapaces forestales mediterráneas, con *Milvus migrans*, pequeños núcleos meridionales de *Milvus milvus*, abundante presencia de *Circaetus gallicus* e *Hieraetus pennatus*, y una alta densidad de *Aquila chrysaetos*, mayoritariamente nidificante en pinos. Población regresiva, años atrás muy importante, de *Neophron percnopterus*, y sin duda abundante *Bubo bubo* en las cárcavas y barrancos. Importantes comunidades mediterráneas, siendo abundantísimas *Sylvia undata*, *Galerida theklae* y en las zonas arboladas *Lullula arborea*. Buena población de *Oenanthe leucura*.

La baja precipitación favorece a las plantas xerófitas, vegetación adaptada a ambientes secos. En los taludes abundan los matorrales termófilos, que pueden soportar elevadas temperaturas, y

mediterráneos, especialmente la coscoja (*Quercus coccifera*), el romero (*Rusmarinus oficinales*), tomillo (*Thymus vulgaris*), sisallo (*Salsola vermiculata*), retama (*Retama sphaerocarpa*), osagra (*Atriplex halimus*), ontina (*Artemisa herba-alba*) aliaga (*Genista scorpius*), aladierno (*Rhamnus alaternus*), escambrón (*Rhamnus lycioides*), bufalaga (*Thymelea tinctoria*), etc. En los fondos de barrancos y umbrías muy húmedas encontramos formaciones mediterráneas con pistacias (*Pistacia terebinthus*), madroños (*Arbutus unedo*), endrinos (*Prunus spinosa*), gabardera (*Rosal sp.*), boj (*Buxus sempervirens*), madrevela (*Lonicera implexa*), rusco (*Ruscus aculeatus*), *Bupleurum rigidum*, *Thalictrum tuberosum*, etc. Algunos arces de montpellier (*Acer monspessulanum*), serbales (*sorbus domestica*), majuelos (*Crataegus monogyna*), olmos (*Ulmus minor*) y temblón (*Populus tremula*). Van apareciendo tímidamente por la sierra. Como comunidades gipsícolas, ligadas a afloramientos yesíferos, encontramos *Ononis tridentata*, *Gypsophila hispanica*, *Helianthemum squamatum*, etc.

Habitan la sierra gran cantidad de insectos, arácnidos de los que cabe destacar la tarántula (*Lycosa tarantula* y *Lycosa radiata*) y escorpión amarillo o arraclán (*Buthus occitanus*), encontramos ranas, sapos, lagartos (Verdes y ocelados) y culebras por las balsas. Los mamíferos son más difíciles de observar: zorros (rabosas), jabalíes, conejos, liebres, jinetas, tejones y recientemente observados ciervos y corzos, (Pedrocchi, 1998).

3. Objetivos y metodología

3.1. Objetivos

El objetivo general del trabajo es el análisis cartográfico de la dinámica espacial del uso / ocupación del suelo y de la vegetación natural ocurridos en el área de estudio a través de:

- La fotointerpretación de imágenes aéreas, con la utilización de la serie temporal de imágenes comprendida entre el vuelo americano de 1956-1957 y el PNOA de 2018.
- El tratamiento digital de imágenes de satélite Landsat, seleccionadas en dos series temporales: 1985-1989 (Landsat 5) y 2015-2019 (Landsat 8).

En este análisis se pretende prestar especial atención a: i) los cambios en el patrón espacial de la vegetación, ii) las transformaciones en el mosaico parcelario de las tierras cultivadas y en el incremento del regadío y iii) el proceso de cambio urbano en las poblaciones existentes y en las de nueva creación, manifestaciones de la transformación paisajística ocurrida en las últimas seis décadas.

Paralelamente, con el trabajo se persiguen también los siguientes objetivos de carácter metodológico:

- La aplicación de técnicas de georeferenciación y fotointerpretación de imágenes obtenidas mediante vuelos aéreos.
- El tratamiento digital de imágenes de los satélites Landsat 5 y Landsat 8 mediante la obtención de índices espectrales, composiciones de color y generación de imágenes de cambio.

El tratamiento digital y el análisis de la información se realizan mediante el software ArcGis 10.7.1.

3.2. Metodología

En función de los objetivos metodológicos, la metodología empleada será utilizada para dar respuesta a los mismos. En este apartado se enumerará y explicará el procedimiento utilizado. En nuestro caso, la resolución de los objetivos queda asociada a la georeferenciación y fotointerpretación, esto es, volcar los resultados de nuestro análisis en la realización de un SIG.

3.2.1. Vuelos fotográficos utilizados

La fotointerpretación se realizará sobre:

- Usos del suelo y cambios producidos en el área de estudio.
- Procesos de cambio en la distribución espacial de la vegetación.
- Procesos de cambio en el parcelario agrícola.
- Procesos de cambios en el urbanismo.

La fotointerpretación supondrá un análisis visual del compendio fotográfico que representa la zona de estudio elegida. Se trata de un importante volumen de fotografías, las cuales han sido divididas en una serie temporal que abarca desde 1956 hasta 2018. Han quedado excluidos los documentos gráficos anteriores a la serie temporal, los cuales pertenecen a:

- Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE): Fotoplanos de 1927. Se excluyen por no existir al completo los fotoplanos de toda la zona de estudio, ya que no existe documentación gráfica de la unidad de la Sierra de Alcubierre (solo se realizó de las zonas adyacentes y el entorno de lo que sería el Canal de Los Monegros y el río Flumen).

Las series de imágenes temporales que hemos empleado corresponden a:

- Instituto Geográfico de Aragón: Vuelo americano. Serie B (1956-1957).
- Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG): Vuelo Nacional (1980-1986) y PNOA Máxima actualidad (2018).

Se han utilizado seis hojas pertenecientes al MTN 50. Se trata de las hojas 0285; 0286; 0323; 0324; 0355 y 0356.

- Vuelo Americano (1956-1957): se han procedido a utilizar ciento treinta y siete imágenes para poder cubrir toda la zona de estudio. Además de ello, se ha tenido que realizar un proceso de georreferenciación de imágenes (ya que no cuadraban con la disposición real) y eliminación de marcos fotográficos (en los que aparece información asociada a la toma de la fotografía – condiciones de vuelo, pasada...)
- Vuelo Nacional (1980-1986): en nuestro caso, las imágenes han sido tomadas en el año 1984 y, para poder cubrir la zona, hemos necesitado cuarenta y nueve. Además de ello, se ha tenido que realizar el mismo proceso de georreferenciación de imágenes y eliminación de marcos fotográficos.
- PNOA máxima actualidad 2018: un total de seis imágenes del MTN 50. No ha sido necesaria georreferenciación (están referidas al sistema de coordenadas ETRS 89 UTM Zona 30 N) o edición de imágenes alguna.

Para una mayor profundización en el análisis, tomaremos tres ubicaciones diferentes dentro de cada serie temporal, las cuales son bastante representativas, siendo seleccionadas de las zonas de sierra; transición y llanura.

3.2.1.1 Vuelo Americano serie B 1956-1957

Los fotogramas utilizados en el primero de los ejemplos de la serie temporal corresponden a este vuelo, realizado en 1956-1957 por el ejército de EEUU. Se encuentran realizados a escala 1:32.000, en resolución variable entre 0,5 y 1 metro, disponible solo para algunas CCAA y en blanco y negro.

Se trata de un vuelo realizado por el Army Map Service, que ya realizó un trabajo similar con el vuelo previo de la serie A, realizado en 1945-1946, a escala 1:43.000 y en blanco y negro. Sin embargo, no hemos utilizado esta serie al no encontrar todos los recursos necesarios para cubrir la zona de estudio.

Posteriormente, la serie C (última de estos vuelos) fue realizada en 1967-1968, a escala 1:45.000 y en blanco y negro. No se ha tomado en valor debido a que nos interesaba un análisis más lejano en el tiempo.

Los fotogramas tienen una gran calidad, siendo el punto de partida para la realización de nuestro análisis, además de ser la primera documentación gráfica encontrada que cubría nuestra zona. A partir de ellos, podemos realizar los cambios producidos en el espacio, a través de una superposición temporal con respecto a las otras imágenes de la serie. Se trata de un importante recurso dentro de los análisis basados en cambios de usos del suelo, cambio climático, turismo o urbanismo. Se encuentran en formato .ecw, habiendo sido necesaria su descarga para poderlos trabajar en un SIG. El acceso a los mismos se ha podido realizar a través del Centro de Descargas del CNIG, seleccionando los correspondientes a las diferentes hojas del MTN50 sobre las que hemos trabajado.

El principal obstáculo a la hora de trabajar con las imágenes ha sido el dilatado proceso de georreferenciación. En nuestro caso, muchas de las imágenes, a pesar de estar asociadas a las hojas del MTN50, no guardaban un correcto encuadre con respecto a la realidad. Por ello, hemos tenido que ir georreferenciando en mayor o menor medida cada una de las imágenes, tratando de lograr que cuadrasen a la perfección con la realidad. Sin embargo, al realizar este proceso de georreferenciación, hemos ido encontrando cierta distorsión (muy elevada en alguno de los casos y mínima en otros), así como diferentes errores, no siguiendo ambas situaciones un patrón específico. El resultado distorsionado derivado de las correcciones realizadas, responde a la variabilidad de altura, posición y ángulo de disparo realizado por la cámara ubicada en el avión, el cual está sujeto a la aerodinámica y a la habilidad de vuelo del piloto. Estos últimos dos factores tendrán repercusión en el alabeo, cabeceo y guiñada descritos en la trayectoria de vuelo, de la que dependerá el resultado del disparo del sensor fotográfico.

Por tanto, a la hora de superponer una fotografía sobre el terreno, entendemos que la distorsión no obedece a cuestiones aleatorias. Para poderla corregir, lo lógico será añadir más puntos de referencia espacial, como veremos más adelante. Se intuye, además, que los resultados iniciales nos ofrecerán un mosaico de imágenes un tanto disperso.

Cabe mencionar la opción de poder visualizar (sin trabajar capa o imagen alguna) en un servidor WMS, el cual permite superponer el mosaico de nuestro vuelo con respecto a cualquier PNOA, permitiendo observar de una manera mucho más rápida los procesos de cambio evidentes.

Para poder realizar la georreferenciación tendremos que servirnos de un programa de SIG (en nuestro caso, ArcGIS en su versión 10.7.1). El proceso de georreferenciación consiste en:

1. Creación del nuevo SIG y carga de ortoimágenes del PNOA de 2018. Creación de capa "Zona de estudio". Adición de los fotogramas de vuelo descargas y posterior eliminación de aquellos que queden fuera de la zona de estudio.
2. Fijación de puntos de control sobre fotogramas del vuelo americano de 1956-1957. Para este proceso, realizado de forma individual sobre cada fotograma, en primer lugar, deberemos identificar con respecto a la realidad del PNOA 2018 la zona donde el fotograma sobre el que se esté trabajando se encuentra ubicado. La lógica de este paso radica en que la imagen del PNOA 2018 ya se encuentra georreferenciada correctamente en origen (como anteriormente ha sido comentado ya). A partir de ello, iremos localizando objetos del terreno o referencias visuales que hayan permanecido poco o nada alteradas en ambas imágenes, identificando sus coordenadas en la realidad y fijando un punto de control sobre la imagen del vuelo de 1956-1957, el cual introduciremos con las coordenadas extraídas previamente. Estos puntos deben

ser captados con una distribución uniforme en la imagen y su número dependerá del orden del ajuste que se le realice (Chuvieco, 2008).

Sin embargo, es posible que la identificación de posibles puntos de control sea complicada en determinados fotogramas, ya que su aparición puede ser realmente variable. Por definición, los “hitos no dinámicos temporalmente” suelen responder habitualmente a edificaciones (de carácter urbano, agrícola...); infraestructuras (Canal de Los Monegros, carreteras, caminos...) y cursos de agua, pero cualquiera de ellos puede haber sido objeto de fuertes variaciones (cuando no, de su completa desaparición). Por tanto, la distribución puede variar en cada imagen, aunque se ha tratado de seguir un orden jerarquizado en función de i) edificaciones, ii) infraestructuras y iii) cursos de agua

Link								
			Total RMS Error:		Forward: 10,9825			
	Link	X Source	Y Source	X Map	Y Map	Residual_x	Residual_y	Residual
<input checked="" type="checkbox"/>	1	713103,24030...	4638201,6255...	713312,79000...	4637944,7200...	-6,18592209	-3,85533129	7,28897877
<input checked="" type="checkbox"/>	2	712554,41417...	4638776,3888...	712670,38000...	4638658,4900...	-11,37611910	2,27809516	11,60197412
<input checked="" type="checkbox"/>	3	713871,05967...	4638979,2187...	714278,92000...	4638863,3800...	3,67176251	0,15858060	3,67518540
<input checked="" type="checkbox"/>	4	713767,25103...	4637467,4880...	714086,52000...	4637041,1900...	-1,82481477	-4,57690667	4,92727345
<input checked="" type="checkbox"/>	5	712400,97559...	4637210,6526...	712431,88000...	4636773,8200...	-1,00827193	-1,30868996	1,65205378
<input checked="" type="checkbox"/>	6	711831,51942...	4637800,9985...	711773,76000...	4637508,4600...	2,29091118	6,34714127	6,74792385
<input checked="" type="checkbox"/>	7	711485,86264...	4639353,8979...	711434,04000...	4639369,8800...	15,11800466	-11,97208122	19,28431471
<input checked="" type="checkbox"/>	8	713029,40100...	4639690,6516...	713276,42000...	4639750,5900...	-14,64893613	6,87673545	16,18273216
<input checked="" type="checkbox"/>	9	714505,20924...	4638219,9799...	715015,80000...	4637918,7700...	8,16259017	-12,26098421	14,72954894
<input checked="" type="checkbox"/>	10	714279,37280...	4637048,2834...	714686,70000...	4636521,9300...	-1,04603710	-4,55839803	4,67687783
<input checked="" type="checkbox"/>	11	713295,56979...	4636934,9072...	713499,83000...	4636430,9500...	1,18405973	13,16549793	13,21863582
<input checked="" type="checkbox"/>	12	714389,35329...	4639402,2042...	714922,24000...	4639367,6200...	5,66277288	9,70634099	11,23743975

Ilustración 2: Fijación de puntos de control y valor residual. Fuente: Elaboración propia

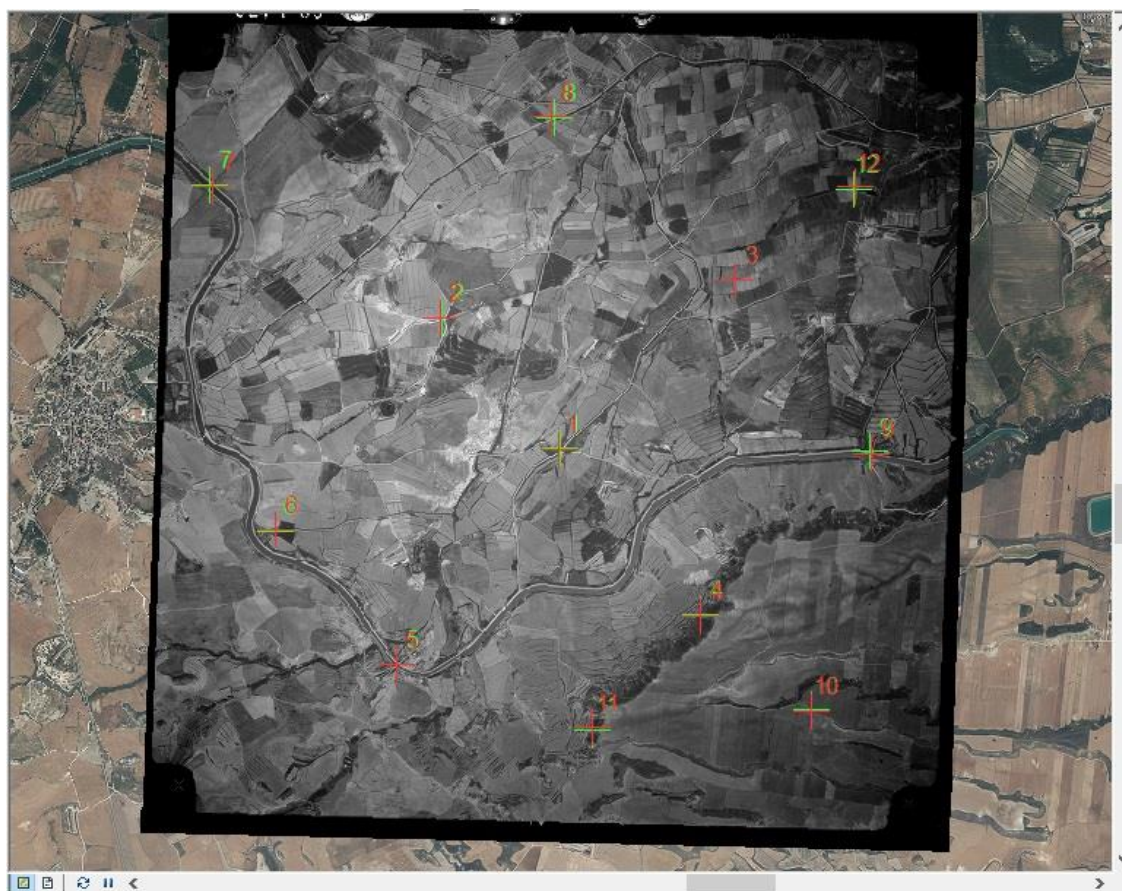


Ilustración 3: Ejemplo de georreferenciación de imagen y toma de puntos de control. Fuente: Elaboración propia

La distribución, por tanto, seguirá ese orden prioritario, siendo tomados como referencia los hitos en función de su importancia (a menos que se encuentren muy próximos) debido a su mayor vigencia en el tiempo. Se tratará de seguir una distribución uniforme, en forma de malla, dando la misma importancia a toda la imagen (no se produce un proceso de concentración de puntos en el centro o el exterior de las imágenes).

En nuestro caso, al tratarse de una zona de estudio que incluye sierra y llanura, es posible que haya que aplicar un mayor número de puntos de control en los fotogramas que pertenezcan a la sierra, debido a una orografía más compleja y a la variabilidad dependiente en la toma de imágenes ya comentada anteriormente. Cada fotograma contará, como mínimo, con once puntos de control. Además de para lograr una correcta distribución de puntos, nos servirá para garantizar un EMC máximo de 20 m (se comentará en apartados posteriores).

3. Interpolación espacial. Hablamos de la relación entre la localización del píxel y la coordenada del mapa asociada al punto de control, la cual siempre genera una diferencia, arrojando un error conocido como Error Cuadrático Medio (a partir de aquí, EMC). Este error es el producto de la ecuación entre las coordenadas X e Y existentes en el fotograma y el mapa real para el mismo punto. Los sucesivos errores de localización se conocen como residuales, y el promedio de la suma de todos los existentes en cada imagen da como resultado el EMC ya comentado.

En nuestro caso hemos aplicado una transformación lineal de primer orden. Este aspecto tiene cierta ventaja a la hora de contrarrestar (como ya se ha mencionado anteriormente) la deformación presente en muchos de los fotogramas con los que vamos a trabajar (debida a las condiciones en la toma de la fotografía), justificando la elección mínima de once puntos de control. Sin embargo, a pesar de ello, en los casos que no haya sido posible realizarlo, se han añadido más puntos de control para conseguir reducir los residuales y, por tanto, el EMC.

El valor del EMC máximo ha sido de 20 m, aunque en algunas de nuestras imágenes no hemos podido cumplirlo. Como se ha mencionado en el párrafo anterior, ni el haber añadido un número superior de puntos de control ha sido posible reducir el valor de los residuales (elevada deformación del fotograma).

4. Interpolación de los niveles digitales (ND) de la imagen original, debido a su reubicación en la imagen corregida y la localización otorgada tras la georreferenciación. Esto se traduce en la necesidad de utilizar una interpolación bilineal, lo que suavizará la imagen, haciéndola un poco más difusa a nuestros ojos.
5. Recorte de las imágenes para la creación del mosaico. Utilizando la función “extract by mask”, se produce una imagen más cuadrada que integrará el mosaico final, reduciendo la presencia de imágenes desproporcionadas y la acumulación de las mismas.

3.2.1.2 Vuelo Nacional (1980-1986)

Se trata de un vuelo fotogramétrico nacional, realizado por el Instituto Geográfico y Catastral (predecesor del Instituto Geográfico Nacional –IGN-). Se realizó entre los años 1980 y 1986, aunque los fotogramas con los que trabajamos datan de 1984, teniendo un salto de análisis de casi treinta años. Se trata de una serie de fotogramas a escala 1:30.000 (muy similar a la del vuelo americano de 1956-1957), con una resolución de píxel entre 0,45 y 0,75 m y en blanco y negro. Los fotogramas se han obtenido del Centro de Descargas del CNIG.

Comparten características con los fotogramas del vuelo americano de 1956-1957, así que el proceso es el mismo que el descrito con anterioridad, idéntico en todos los apartados. En este caso, los fotogramas a tratar son cuarenta y nueve.

3.2.1.3 Ortoimágenes del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea Máxima Actualidad 2018

El Plan Nacional de Ortofotografía Aérea es un proyecto realizado a través de la colaboración de la AGE y las CCAA, dentro del Plan Nacional de Observación del Territorio y llevado a cabo por el IGN y el CNIG. Se realiza con carácter bianual-trianual, con el objetivo de “obtener ortofotografías aéreas digitales con resolución 0,25 o 0,50 m y modelos digitales de elevaciones (MDE) de alta precisión sobre todo el territorio nacional”.

Como cualquier otro PNOA, está enfocado a “la obtención de productos fotogramétricos comunes para todo el territorio nacional, con especificaciones técnicas consensuadas entre todas las administraciones implicadas y cuyo resultado es el proceso y obtención de ortofotografías digitales, incluyendo: el vuelo fotogramétrico, apoyo de campo, aerotriangulación y el modelo digital de elevaciones”.

En nuestro caso, el PNOA es del año 2018. El tamaño del píxel utilizado es de 0,5 m. La ventaja principal (además de su calidad y ajuste a la realidad) que nos proporciona es la adición de capas de trabajo que nos facilitarán la visualización y análisis de los cambios ocurridos en el terreno. Se eligió el PNOA de 2018, por tratarse de una toma cercana a los períodos fenológicos que nos interesa estudiar y muy próxima a nuestra realidad actual.

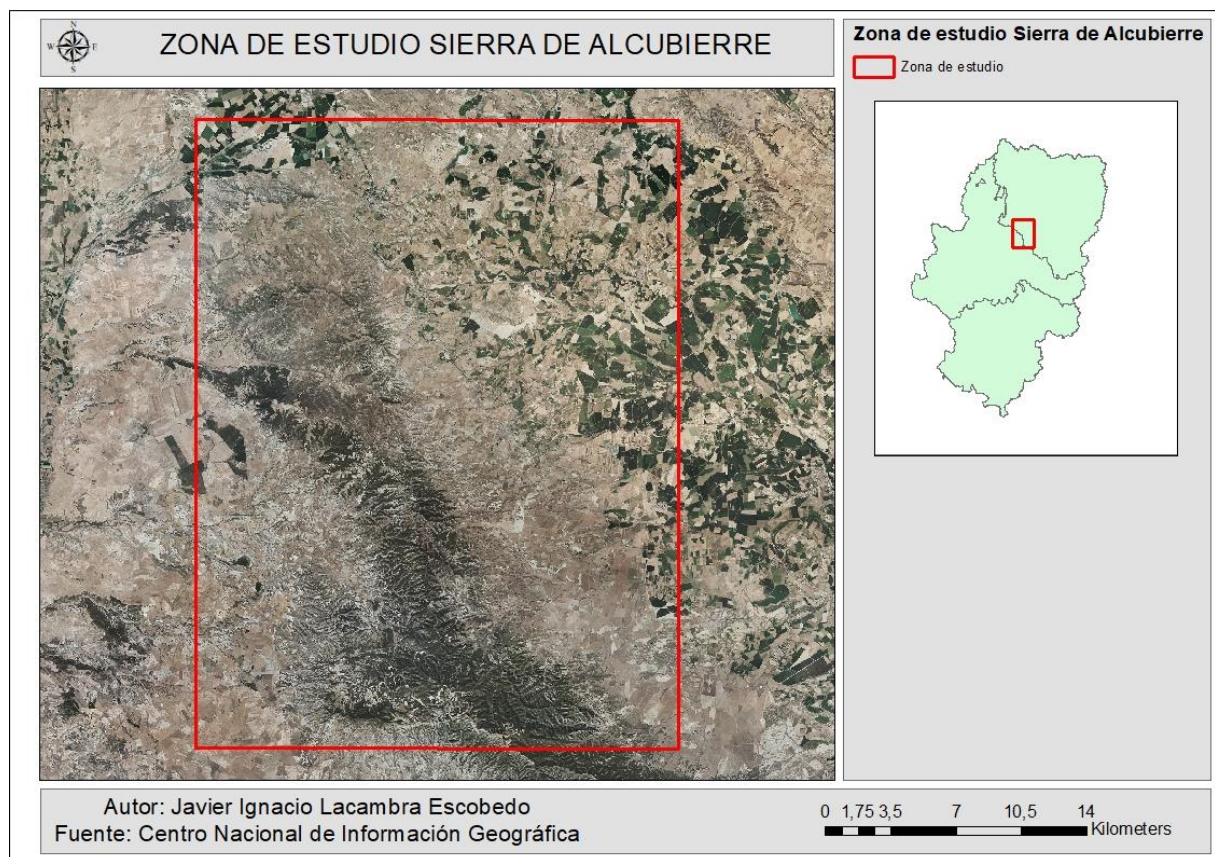


Figura 4: Mapa de la zona de estudio - Imágenes del PNOA 2018. Fuente: CNIG.

3.2.2. Fotointerpretación

Para la fotointerpretación se parte de la ortofotografía del PNOA 2018 por su cercanía en el tiempo a la realidad a día de hoy, siendo el punto de partida a la hora de poder evaluar los diferentes cambios ocurridos. Además, hay que tener en cuenta que es la única muestra de la serie cronológica que nos va a permitir trabajar con las diferentes capas de datos elegidas (Corine Land Cover 2018 y SIGPAC), así como la de mejor resolución de las tres que se tomarán en la serie. En este aspecto, como ya hemos

indicado anteriormente y se realizó en la georreferenciación, la identificación visual de los diferentes elementos presentes en el terreno es mucho más sencilla, facilitando la interpretación.

Tras ello, serán las otras imágenes las que nos sirvan para establecer las comparaciones espacio-temporales y llegar así a poder realizar las conclusiones pertinentes.

En nuestro caso, el análisis a realizar que se plantea es realmente extenso en cuanto a extensión cubierta se refiere. Tras haber delimitado inicialmente la zona de estudio, por cuestiones organizativas y para no saturar el análisis, se ha decidido desagregar el análisis en tres tipos de ubicaciones de realidad bien distinta dentro del área elegida. En ellas, se mostrará un ejemplo.

Esta elección no responde a un criterio aleatorio, sino más bien al contrario. Se persigue el objetivo de presentar las transformaciones espacio-temporales en una secuencia de sesenta años, en una zona donde no existe la homogeneidad en el paisaje, la cual presenta una escala de contrastes muy amplia. Es por ello que nos interesa presentar tres tipos de ubicaciones con casos muy diferenciados. Se tratará de:

- Zona de la propia Sierra de Alcubierre: se encontrarán las imágenes ubicadas en el núcleo de la propia Sierra, donde podemos observar tanto importantes masas forestales como zonas de escasa o nula vegetación, además de parcelario.
- Zona de transición entre la Sierra de Alcubierre y poblaciones: con ubicación en las estribaciones de la Sierra, en contacto con las primeras localidades existentes en sus lindes. En la vertiente norte, el límite se encontrará limitado por el Canal de Los Monegros, el cual diferencia de manera importante las tierras de secano y regadío. En la vertiente sur, el límite quedará más difuminado.
- Zona de regadío: en este caso, solo será protagonista la zona norte de nuestra área de estudio, ya que es la que concentra un abrumador porcentaje de tierra de regadío frente a la existente en la vertiente sur (muy escasa). Se encuentra ubicada desde el límite del Canal de Los Monegros, expandiéndose por toda la Comarca.

Estas tres zonas son escogidas por representar las tres realidades existentes en la zona, permitiendo segmentar el análisis de los procesos de cambio.

3.2.3. Escala de trabajo y unidad mínima cartografiable

Como en cualquier proceso de digitalización, es necesario establecer una escala de trabajo uniforme. En el caso de la georreferenciación, la empleada ha sido 1:500.

Debido al obligado carácter tan detallado de nuestro análisis hemos tenido que optar por trabajar en esta escala, ya que los procesos de cambio en los usos del suelo; la distribución espacial de la vegetación; los del parcelario; el paisaje urbano e infraestructuras pueden haber sido muy concretos y particulares en ciertas zonas o radicalmente importantes en otras, dada la extensión de la misma. Esta elección se encuentra fuertemente relacionada con la calidad inferior de los fotogramas de los vuelos de 1956-1957 y 1980-1986 con respecto al PNOA 2018, lo que dificulta la labor de identificación de los elementos, obligando a trabajar con mayor detalle en cada imagen.

La escala a la que se presentan los mapas realizados es 1:200.000 en el caso de la zona de estudio al completo.

3.2.4. Leyenda

En nuestro caso, como nuestro estudio trata de realizar una comparativa espacio-temporal, utilizaremos las capas del Corine Land Cover 2018 (CLC 2018) y la del SIGPAC.

En el caso del CLC 2018, “el objetivo es desarrollar una base de datos sobre la cobertura y uso del territorio en la Unión Europea, teniendo como objetivo fundamental la captura de datos de tipo numérico y geográfico para la creación de una base de datos europea a escala 1:100.000 sobre la cobertura y uso del territorio mediante la interpretación a través de imágenes recogidas por la serie de satélites Landsat y SPOT.

NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3	CODIGO	RGB
Superficies artificiales	Zonas urbanas	Tejido urbano continuo	111	230-000-077
		Tejido urbano discontinuo	112	255-000-000
	Zonas industriales, comerciales y de transporte	Zonas industriales o comerciales	121	204-077-242
		Redes viarias, ferroviarias y terrenos asociados	122	204-000-000
		Zonas portuarias	123	230-204-204
		Aeropuertos	124	230-204-230
	Zonas de extracción minera, vertederos y de construcción	Zonas de extracción minera	131	166-000-204
		Escombreras y vertederos	132	166-077-000
		Zonas en construcción	133	255-077-255
	Zonas verdes artificiales, no agrícolas	Zonas verdes urbanas	141	255-166-255
		Instalaciones deportivas y recreativas	142	255-230-255
Zona agrícolas	Tierras de labor	Tierras de labor en secano	211	255-255-168
		Terrenos regados permanentemente	212	255-255-000
		Arrozales	213	230-230-000
	Cultivos permanentes	Viñedos	221	230-128-000
		Frutales	222	242-166-077
		Olivares	223	230-166-000
	Prados y praderas	Prados y praderas	231	230-230-077
	Zonas agrícolas heterogéneas	Cultivos anuales asociados con cultivos permanentes	241	255-230-166
		Mosaico de cultivos	242	255-230-077
		Terrenos principalmente agrícolas, pero con importantes espacios de vegetación natural y semi-natural	243	230-204-077
		Sistemas agroforestales	244	242-204-166
Zonas forestales con vegetación natural y espacios abiertos	Bosques	Bosques de frondosas	311	128-255-000
		Bosques de coníferas	312	000-166-000
		Bosque mixto	313	077-255-000
	Espacios de vegetación arbustiva y o herbácea	Pastizales naturales	321	204-242-077
		Landas y matorrales mesófilos	322	166-255-128
		Matorrales esclerófilos	323	166-230-077
		Matorral boscoso de transición	324	166-242-000
	Espacios abiertos con poca o sin vegetación	Playas, dunas y arenales	331	230-230-230
		Roquedo	332	204-204-204
		Espacios con vegetación escasa	333	204-255-204
		Zonas quemadas	334	000-000-000
Zonas húmedas	Zonas húmedas continentales	Humedales y zonas pantanosas	411	166-166-255
		Turberas y prados turbosos	412	077-077-255
	Zonas húmedas litorales	Marismas	421	204-204-255
		Salinas	422	230-230-255
		Zonas llanas intermareales	423	166-166-230
Superficies de agua	Aguas continentales	Cursos de agua	511	000-204-242
		Láminas de agua	512	128-242-230
	Aguas marinas	Lagunas costeras	521	000-255-166
		Estuarios	522	166-255-230
		Mares y océanos	523	230-242-255

Ilustración 4: Leyenda Corine Land Cover 2018. Fuente: CNIG.

El Sistema de Información Geográfica de Parcelas Agrícolas (SIGPAC), permite identificar geográficamente las parcelas declaradas por los agricultores y ganaderos, en cualquier régimen de ayudas relacionado con la superficie cultivada o aprovechada por el ganado. Fue desarrollado con el

propósito de facilitar a los agricultores la presentación de solicitudes, con soporte gráfico, así como para facilitar los controles administrativos y sobre el terreno.

El SIGPAC se ha convertido en una herramienta de enorme utilidad en campos diferentes del agrario (geología, infraestructuras, urbanismo...), lo que obedece a su concepción y desarrollo, en el que se hace uso continuo y permanente de las tecnologías más avanzadas en información geográfica automatizada". Es por ello, que el uso de estas dos capas coincide plenamente con nuestros intereses, ya que el CLC 2018 nos permitirá observar los procesos de cambio en los usos del suelo, la distribución espacial de la vegetación y los procesos de transformación urbana, mientras que el SIGPAC lo hará en el apartado del cambio en el parcelario.

Debemos tener en cuenta que las capas utilizadas están actualizadas a 2018 (CLC) y 2020 (SIGPAC), por lo que, cuando realicemos la superposición y análisis de las imágenes de la serie temporal podremos establecer relaciones y conclusiones con los datos actuales, nunca con los existentes en el momento. Como ya se ha mencionado anteriormente, cada capa contiene una serie de datos con información específica, la cual se desagrega en una leyenda para su posterior identificación e interpretación.

3.2.4.1 Leyenda Corine Land Cover 2018

En este caso, el CLC 2018 presenta una leyenda clasificada en tres niveles, los cuales van desagregando la información hasta lograr una identificación numérica para cada elemento. Como en nuestra zona de estudio solo están presentes una serie de elementos no procede explicarla al completo, centrándonos exclusivamente en la división por niveles de los existentes.

3.2.4.2 Leyenda SIGPAC

En el caso de la otra capa, el SIGPAC, encontramos una clasificación por usos y su descripción.

DESCRIPCION USO SIGPAC	USOS SIGPAC
TIERRAS DE CULTIVO	TA, TH, IV
CULTIVOS PERMANENTES	CF, CS, CV, FF, OC, CI, FY, FS, FL, FV, OV, OF, VI, VF, VO
+ Viñedo y sus asociaciones	VI, VO, VF, FV, CV
+ Olivar y sus asociaciones	OV, VO, OF, FL, OC
+ Frutales y sus asociaciones	FY, VF, OF, FF, CF
+ Frutos secos y sus asociaciones	FS, FV, FL, FF, CS
+ Cítricos y sus asociaciones	CI, CV, OC, CF, CS
PASTOS	PS, PR, PA
FORESTAL	FO
SUPERFICIE NO AGRICOLA	AG, ED, EP, IM, CA, ZU
OTROS	ZV, ZC

Ilustración 5: Tabla descriptiva del SIGPAC. Fuente: CNIG.

DESCRIPCIÓN USO SIGPAC	USO SIGPAC	DESCRIPCIÓN USO SIGPAC	USO SIGPAC
Asociación Cítricos-Frutales	CF	Improductivos	IM
Asociación Cítricos-Frutales de Cáscara	CS	Invernaderos y cultivos bajo plástico	IV
Asociación Cítricos-Viñedo	CV	Olivar	OV
Asociación Frutales-Frutales De Cáscara	FF	Olivar - Frutal	OF
Asociación Olivar-Cítricos	OC	Pastizal	PS
Cítricos	CI	Pasto Arbustivo	PR
Corrientes y Superficies de Agua	AG	Pasto con Arbolado	PA
Edificaciones	ED	Tierras Arables	TA
Elemento del paisaje	EP	Viales	CA
Forestal	FO	Viñedo	VI
Frutales	FY	Viñedo - Frutal	VF
Frutos Secos	FS	Viñedo - Olivar	VO
Frutos Secos y Olivar	FL	Zona Censurada	ZV
Frutos Secos y Viñedo	FV	Zona Concentrada no incluida en la Ortofoto	ZC
Huerta	TH	Zona Urbana	ZU

Ilustración 6: Tabla descripción de uso del SIGPAC. Fuente: CNIG.

El resultado global de ambas capas se ve reflejado en estos dos mapas de forma global. Para ir al detalle, nos serviremos de las imágenes seleccionadas en las series temporales.

3.2.5. Imágenes de satélite utilizadas

El análisis de teledetección se realizará sobre:

- Usos del suelo y cambios producidos en el área de estudio.
- Estudio y evolución de la vegetación (características y cambios en su distribución espacial).
- Procesos de cambio en el parcelario agrícola.
- Procesos de cambios en el urbanismo.

El proceso de teledetección supone un análisis visual de la colección de imágenes de satélite que incluyen nuestra zona de estudio. Para ello, se van a elegir dos series temporales con períodos de cinco años en cada una de ellas y un lapso de treinta años entre ellas (desde la primera hasta la última).

3.2.5.1. Selección de períodos e imágenes de satélite

Las imágenes de satélite tomadas se corresponden a los períodos de 1985-1989 y 2015-2019. Estas dos series temporales utilizan dos satélites:

- Landsat 5: Con los sensores de observación Thematic Mapper (TM) y Multispectral Scanner (MSS), presenta siete bandas de datos de imagen. Serie de 1985-1989.
- Landsat 8: Con los sensores de observación Operational Land Imager (OLI) y Thermal Infrared Sensor (TIRS), presenta once bandas de datos de imagen. Serie de 2015-2019.

Las imágenes han sido extraídas del USGS (United States Geological Survey), corresponsable del programa Landsat junto con la NASA. Están disponibles tras previo registro y solicitud de los productos. Para este proceso de análisis, se descargaron inicialmente imágenes comprendidas entre el 01/06/1984 y 31/07/1989 para el programa Landsat 5, mientras que para Landsat 8 se hizo de imágenes comprendidas entre el 01/06/2014 y 31/07/2019. Solo se descargaron imágenes que incluían nuestra zona de estudio al completo.

Posteriormente, se tuvieron que descartar las imágenes del primer año de cada selección, además de aquellas que presentaban nubosidad total o parcial. Tras ello, se decidió seleccionar aquellas que se encontrasen en un período cercano al 01/07 del año correspondiente, dando prioridad a fechas comprendidas entre el 15/06 y el 15/07 (en el caso del año 2018 no ha sido posible). En la ilustración 7 se presenta el proceso de selección de imágenes y en la ilustración 8 la relación de las elegidas finalmente.

Satélite	Año	Mes	Día	Nubosidad	Nubosidad completa	Motivo del descarte
Landsat 8	2019	7	4	No	No	Imagen seleccionada
Landsat 8	2019	6	18	No	No	Existe otra más cercana a la fecha del 01/07
Landsat 8	2019	6	5	No	No	Existe otra más cercana a la fecha del 01/07
Landsat 8	2019	6	2	No	No	Existe otra más cercana a la fecha del 01/07
Landsat 8	2018	7	17	No	No	Imagen seleccionada
Landsat 8	2018	7	16	Sí	Sí	Nubosidad parcial o total
Landsat 8	2018	7	1	Sí	No	Existe otra más cercana a la fecha del 01/07
Landsat 8	2018	6	15	Sí	No	Existe otra más cercana a la fecha del 01/07
Landsat 8	2017	7	14	No	No	Imagen seleccionada
Landsat 8	2017	6	28	Sí	Sí	Nubosidad parcial o total
Landsat 8	2017	6	12	No	No	Existe otra más cercana a la fecha del 01/07
Landsat 8	2016	7	11	Sí	Sí	Nubosidad parcial o total
Landsat 8	2016	6	25	No	No	Imagen seleccionada
Landsat 8	2016	6	9	No	No	Existe otra más cercana a la fecha del 01/07
Landsat 8	2015	7	9	No	No	Imagen seleccionada
Landsat 8	2015	6	23	No	No	Existe otra más cercana a la fecha del 01/07
Landsat 8	2015	6	7	No	No	Existe otra más cercana a la fecha del 01/07
Landsat 8	2014	7	6	Sí	Sí	No entra dentro del ciclo de estudio
Landsat 8	2014	6	20	No	No	No entra dentro del ciclo de estudio
Landsat 8	2014	6	4	Sí	No	No entra dentro del ciclo de estudio
Landsat 5	1989	7	17	No	No	Existe otra más cercana a la fecha del 01/07
Landsat 5	1989	7	1	No	No	Imagen seleccionada
Landsat 5	1989	6	15	No	No	Existe otra más cercana a la fecha del 01/07
Landsat 5	1988	7	14	No	No	Imagen seleccionada
Landsat 5	1988	6	28	Sí	Sí	Nubosidad parcial o total
Landsat 5	1988	6	12	Sí	Sí	Nubosidad parcial o total
Landsat 5	1987	7	12	No	No	Imagen seleccionada
Landsat 5	1987	6	26	Sí	Sí	Nubosidad parcial o total
Landsat 5	1987	6	10	Sí	Sí	Nubosidad parcial o total
Landsat 5	1986	6	23	No	No	Imagen seleccionada
Landsat 5	1986	6	7	Sí	Sí	Nubosidad parcial o total
Landsat 5	1985	7	22	No	No	Existe otra más cercana a la fecha del 01/07
Landsat 5	1985	7	6	No	No	Imagen seleccionada
Landsat 5	1984	7	19	No	No	No entra dentro del ciclo de estudio

Ilustración 7: Relación de imágenes Landsat 5 y Landsat 8 para períodos de estudio 1985-1989 y 2015-2019. Fuente: USGS.

Satélite	Año	Mes	Día
Landsat 8	2019	7	4
Landsat 8	2018	7	17
Landsat 8	2017	7	14
Landsat 8	2016	6	25
Landsat 8	2015	7	9
Landsat 5	1989	7	1
Landsat 5	1988	7	14
Landsat 5	1987	7	12
Landsat 5	1986	6	23
Landsat 5	1985	7	6

Ilustración 8: Selección de imágenes Landsat 5 y Landsat 8 para períodos de estudio 1985-1989 y 2015-2019. Fuente: USGS.

Para una mayor profundización en el análisis, tomaremos tres ubicaciones diferentes dentro de cada serie temporal, las cuales son bastante representativas, siendo seleccionadas de las zonas de sierra; transición y llanura

3.2.5.2. Tratamiento de imágenes

Las imágenes multibanda corresponden a Landsat Collection 1 Level – 2 (On – Demand), las cuales vienen con la corrección atmosférica realizada, mostrando además la reflectividad de la superficie terrestre. Además, mediante la realización de la función “Clip”, recortamos la imagen para cuadrarla con la zona de estudio del trabajo, con el objetivo de poder realizar el análisis de forma más precisa y eliminar información que no era necesaria. Tras ello, se procedió a realizar una serie de composiciones de color equivalentes entre sí, relativas a cada período:

Período	Bandas RGB			Uso
1985-1989	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Descripción
Composición 1	7	3	1	Rocas
Composición 2	5	3	1	Texturas topográficas
Composición 3	4	5	1	Salud y vigor vegetal
Composición 4	5	4	1	Agricultura
Composición 5	7	5	4	Terreno y vegetación
Composición 6	7	5	3	Geología
Composición 7	7	4	2	Bosques y masas forestales
Composición 8	4	5	3	Humedad en suelo
Composición 9	5	4	3	Falso color. Suelo; agua y vegetación
Composición 10	4	3	2	Falso color infrarrojo. Límites agua-suelo. Vegetación
Composición 11	3	2	1	Color real

Ilustración 9: Composiciones RGB para imágenes Landsat 5. Fuente: USGS.

Período	Bandas RGB			Uso
2015-2019	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Descripción
Composición 1	4	3	2	Color real
Composición 2	7	6	4	Zonas urbanas
Composición 3	5	4	3	Infrarrojo para vegetación
Composición 4	6	5	2	Agricultura
Composición 5	7	6	5	Penetración radiación en atmósfera
Composición 6	5	6	4	Usos del suelo y masas de agua
Composición 7	7	5	4	Infrarrojo de onda corta
Composición 8	6	5	4	Vegetación
Composición 9	5	6	2	Vegetación sana

Ilustración 10: Composiciones RGB para imágenes Landsat 8. Fuente: USGS.

Las composiciones se realizarán en ArcMap, a través de la función “composite bands”, en la cual se irán añadiendo las diferentes bandas a los canales RGB, dando lugar a cada composición.

3.2.5.3. Cálculo de índices

Para poder visualizar correctamente la evolución de la vegetación se procede a realizar el cálculo de cuatro índices específicos: vegetación de diferencia normalizada; brillo; verdor y humedad.

El índice de vegetación normalizada (NDVI) es una combinación lineal de canales, es decir, operaciones aplicadas pixel a pixel en función de los niveles digitales de dos o más bandas. Se basa en la diversa respuesta de las cubiertas en diferentes sectores del espectro (firma espectral). Permite estudiar cantidad y calidad de la vegetación existente en el área objeto de estudio, a través del uso de diferentes bandas del espectro electromagnético. En este caso, el cálculo se realiza entre la banda roja (0,6 a 0,7 μm) y la infrarroja (0,7 a 1,1 μm). Se expresa en la fórmula:

$$NDVI = (NIR - VIS) / (NIR + VIS)$$

En el caso de Landsat 5, $NDVI = (B4 - B3) / (B4 + B3)$

En el caso de Landsat 8, $NDVI = (B5 - B4) / (B5 + B4)$

La utilización de estas bandas se debe al comportamiento espectral de la vegetación sana, que tiene un funcionamiento de reflectividad de un sentido inverso. En el espectro visible, los pigmentos absorben la mayor cantidad de energía posible, comportándose de forma contraria en el infrarrojo, en el que se produce la situación inversa. Esto hace que la vegetación se vea resaltada en la imagen. Por ello, al utilizar este índice se consigue obtener la información sobre el vigor vegetal.

El NDVI opera de tal manera que el resultado del índice da el mismo valor para un objeto en lugares distintos, aunque la cantidad de energía recibida en un lugar frente a otro sea distinta, de ahí que resulte tan importante para la realización de dicho trabajo (Chuvieco, 1995).

El segundo cálculo ha sido el análisis Tasseled Cap. Este cálculo dará lugar a los índices de brillo; verdor y humedad. El resultado de los índices depende de una serie de coeficientes ya establecidos (ilustraciones 11 y 12), los cuales son específicos para cada índice y variables en función del satélite que tomó la imagen de estudio. Las fórmulas son (en raster calculator):

$$\text{Landsat 5: Float } (((X) * B1) + ((X) * B2) + ((X) * B3) + ((X) * B4) + ((X) * B5) + ((X) * B7)))$$

$$\text{Landsat 8: Float } (((X) * B2) + ((X) * B3) + ((X) * B4) + ((X) * B5) + ((X) * B6) + ((X) * B7)))$$

(siendo X el valor del coeficiente y B la banda a utilizar).

Componente	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7
Brillo	0,2909	0,2493	0,4806	0,5568	0,4438	0,1706
Verdor	-0,2728	-0,2174	-0,5508	0,7221	0,0733	-0,1648
Humedad	0,1446	0,1761	0,3322	0,3396	-0,621	-0,4186

Ilustración 11: Coeficientes para Tasseled Cap en Landsat 5 (Crist, Laurin y Cicone, 1986).

Landsat 8						
TCT	(Blue) Band 2	(Green) Band 3	(Red) Band 4	(NIR) Band 5	(SWIR1) Band 6	(SWIR2) Band 7
Brightness	0.3029	0.2786	0.4733	0.5599	0.508	0.1872
Greenness	-0.2941	-0.243	-0.5424	0.7276	0.0713	-0.1608
Wetness	0.1511	0.1973	0.3283	0.3407	-0.7117	-0.4559
TCT4	-0.8239	0.0849	0.4396	-0.058	0.2013	-0.2773
TCT5	-0.3294	0.0557	0.1056	0.1855	-0.4349	0.8085
TCT6	0.1079	-0.9023	0.4119	0.0575	-0.0259	0.0252

Ilustración 12: Coeficientes para Tasseled Cap en Landsat 8 (Baig et al., 2014).

Al no ser un análisis imagen dependiente no será necesario hacer tanta interpretación, y gracias a esto se podrá comparar imágenes en el espacio y en el tiempo porque un determinado valor significa siempre lo mismo al estar en este rango predefinido. En definitiva, aporta una valoración física de la estructura espaciotemporal de los datos (Chuvieco, 2000).

A diferencia del NDVI (que solo tiene en cuenta las bandas de rojo e infrarrojo próximo), Tasseled Cap tiene en cuenta las seis bandas, lo que ofrece mayor contenido informativo y fiabilidad. La variación de coeficientes se explica porque cada sensor tiene unos parámetros concretos. En cuanto al significado de estos tres elementos, Chuvieco (2010) los define brevemente como:

- Brillo: Suma ponderada de todos los canales, excluido el térmico. Refleja los cambios en la reflectividad total de la escena.
- Verdor: Relacionado con la actividad vegetativa. Realiza un contraste entre las bandas visibles y el infrarrojo medio.
- Humedad: Tiene que ver con el contenido de humedad en la vegetación y los suelos.

Tras el cálculo de cada elemento, se realizará la composición en RGB (rojo -brillo-; verde -verdor- y azul -brillo-) para su posterior representación.

4. Resultados y discusión

4.1. Series temporales

4.1.1. Vuelo americano de 1956-1957

Un total de 165 recortes de fotogramas han sido obtenidos tras la realización de su correspondiente proceso de georreferenciación y tratamiento. La escala de trabajo es de 1:200.000.

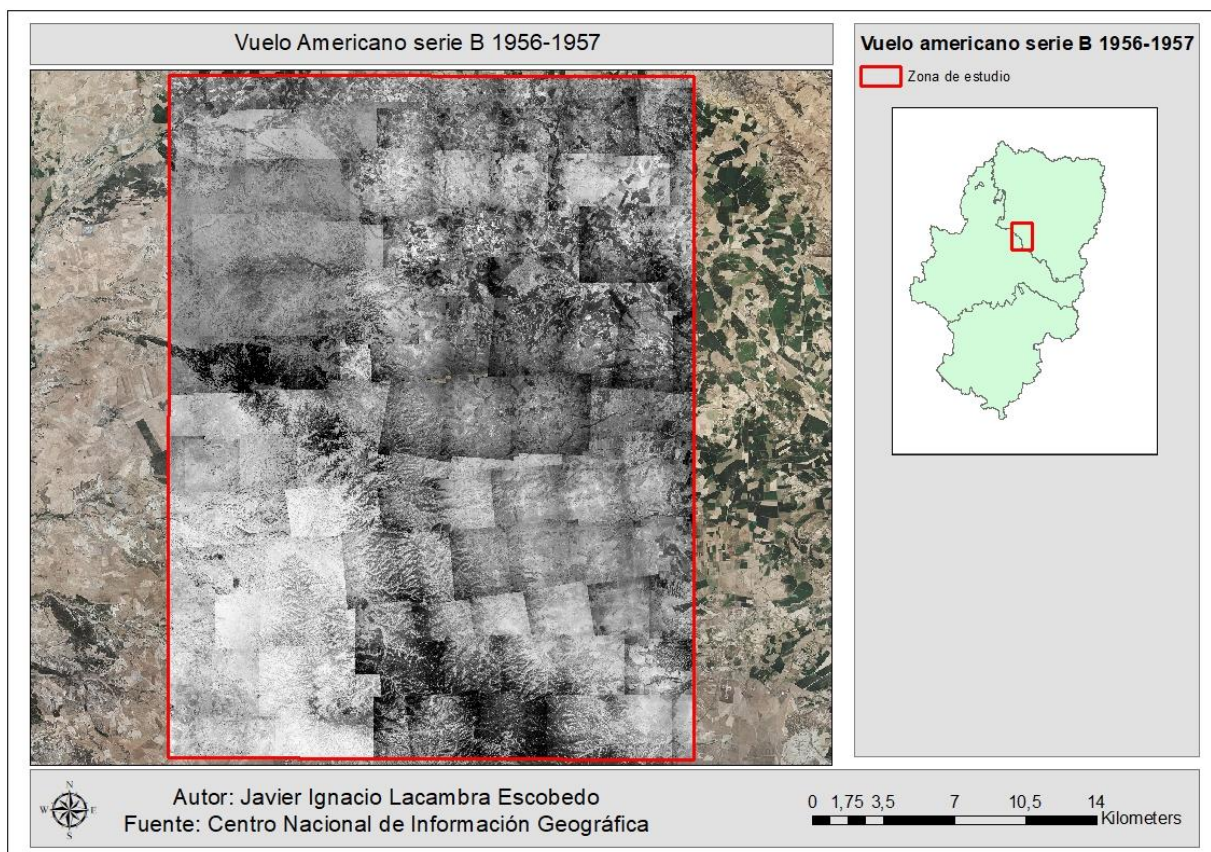


Figura 5: Mosaico del vuelo americano serie B 1956-1957. Fuente: CNIG.

Se presenta así la realidad de la zona de estudio en 1956-1957, la cual se muestra en la imagen con total claridad. Es la primera de las series temporales y, por tanto, se apreciarán numerosos cambios con respecto a las otras dos series temporales.

A pesar de haber intentado realizar las correcciones pertinentes, las variables que afectan a la toma de la imagen dificultan mucho la creación de un mosaico uniforme, ya que de aplicar la misma extracción por máscara podríamos obtener resultados no muy óptimos. Las diferencias son muy apreciables en cuanto a brillo y orientación, pero se ha decidido respetar el producto original para no alterar artificialmente el análisis.

4.1.2. Vuelo Nacional 1980-1986

Un total de 49 fotogramas han tenido que ser utilizados. En este caso, también se ha tenido que realizar un proceso de georreferenciación y posterior tratamiento, aunque ha sido mucho menor el tiempo invertido. La escala de trabajo es de 1:200.000. Podemos apreciar que los cambios no son tan importantes como podría esperarse (al menos en la parte del secano y del regadío). Más allá de algún proceso de cambio en el parcelario (dando lugar a concentraciones mayores de tierra y reducción del mosaico de parcelas), nos interesa ver los cambios acontecidos en la Sierra.

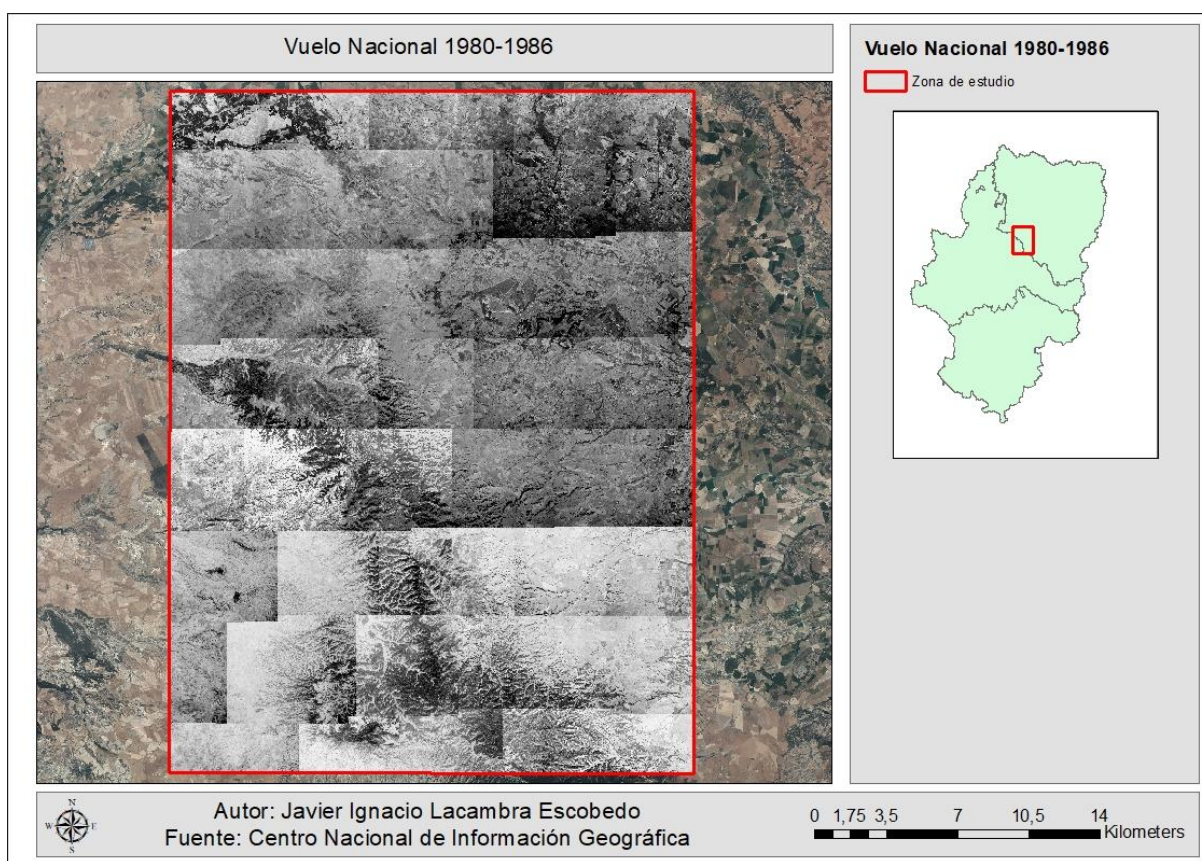


Figura 6: Mosaico del vuelo nacional de 1980-1986. Fuente: CNIG.

4.1.3. Plan Nacional de Ortofotografía Aérea 2018

Se muestra la ortofotografía más reciente de la que se dispone. En ella vemos los procesos de cambio presentes en el parcelario (concentraciones y modernización del regadío) y la colonización vegetal cada vez más acentuada en determinados espacios de la Sierra de Alcubierre. Podemos apreciar como el desuso de la ganadería extensiva ha favorecido una mayor cobertura vegetal y densificación de la misma. El pasto coloniza las estribaciones, así como el núcleo central de la Sierra.

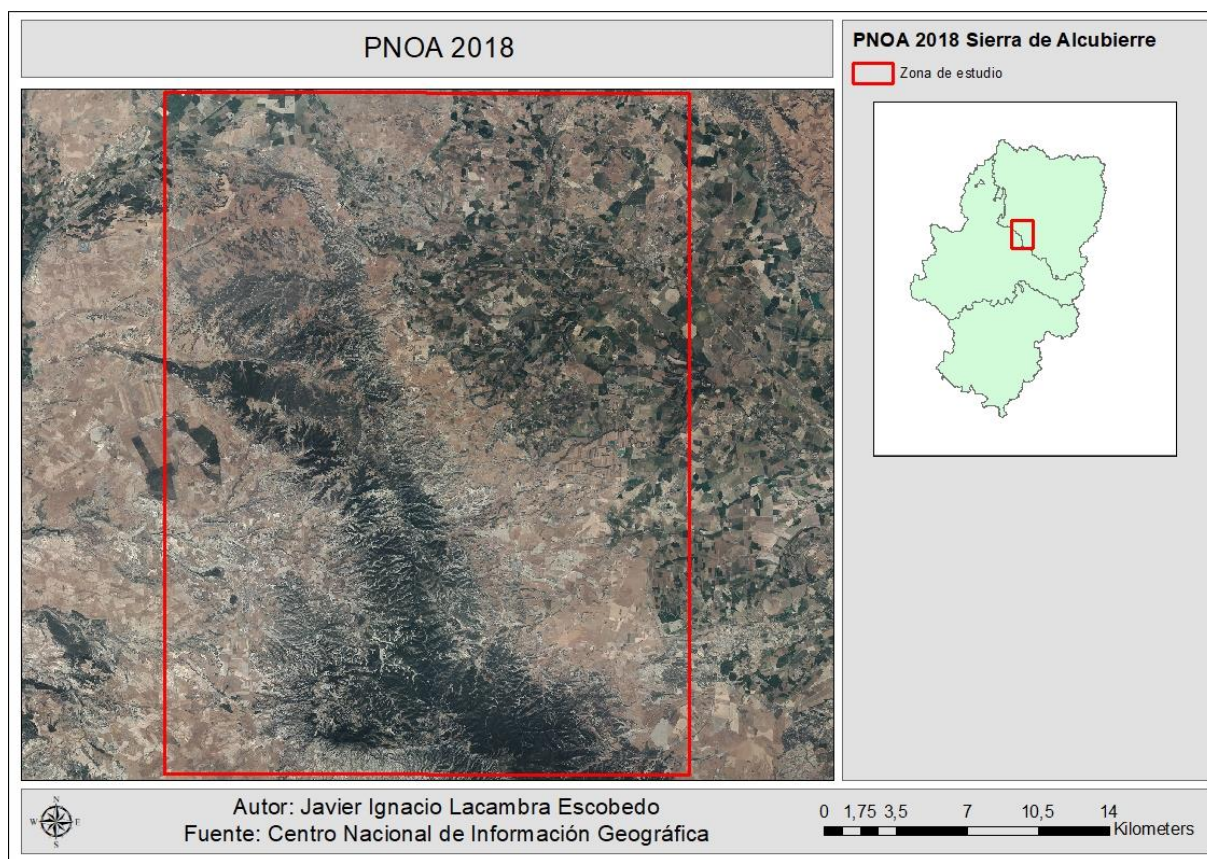


Figura 7: Imagen del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea 2018. Fuente: CNIG.

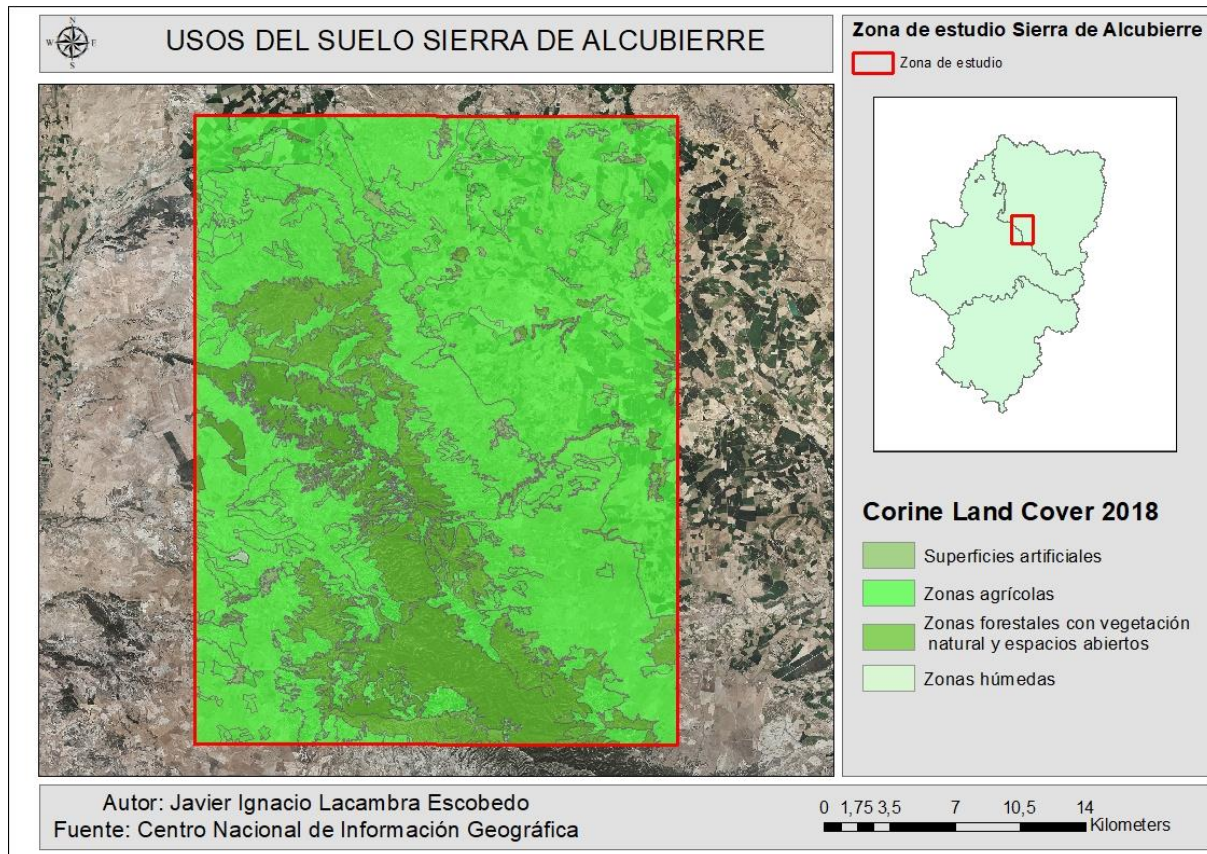


Figura 8: Mapa de usos del suelo de la Sierra de Alcubierre (nivel 1). Fuente: CNIG.

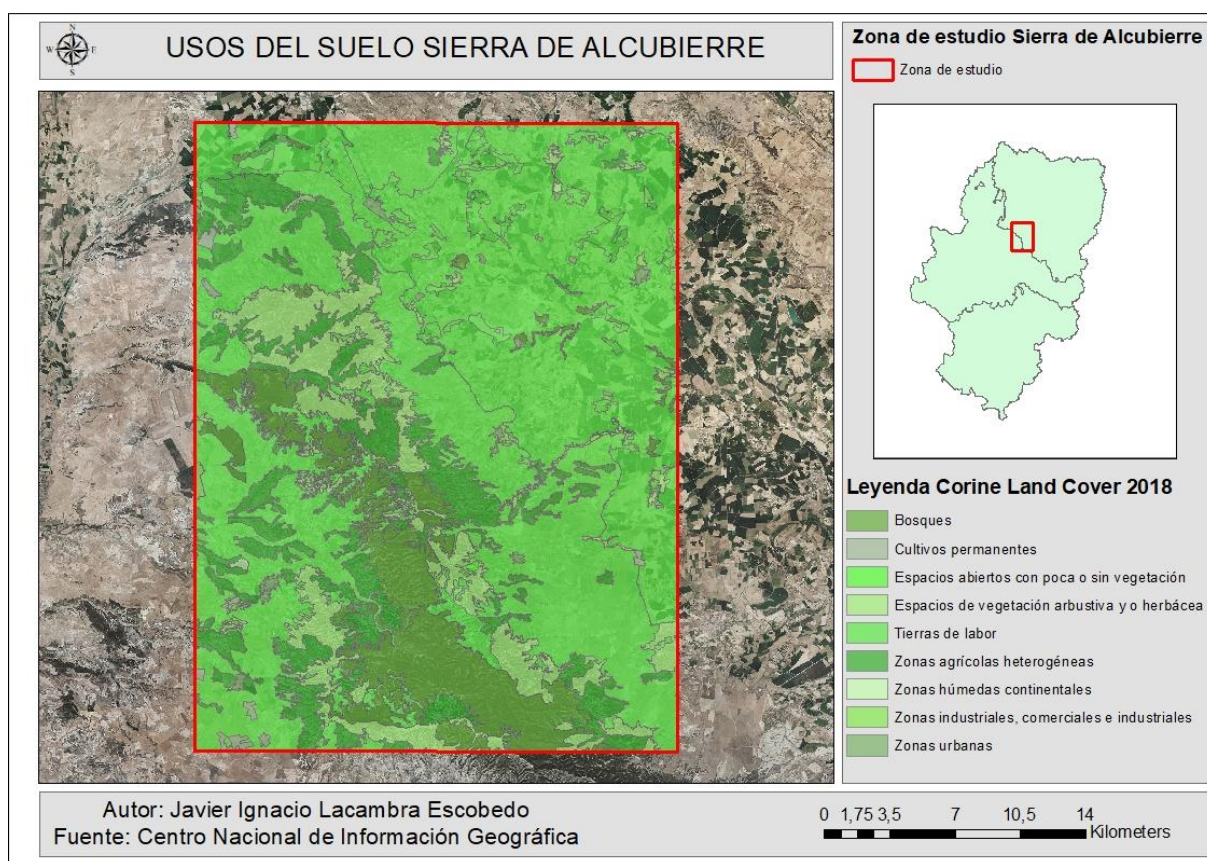


Figura 9: Mapa de usos del suelo de la Sierra de Alcubierre (nivel 2). Fuente: CNIG.

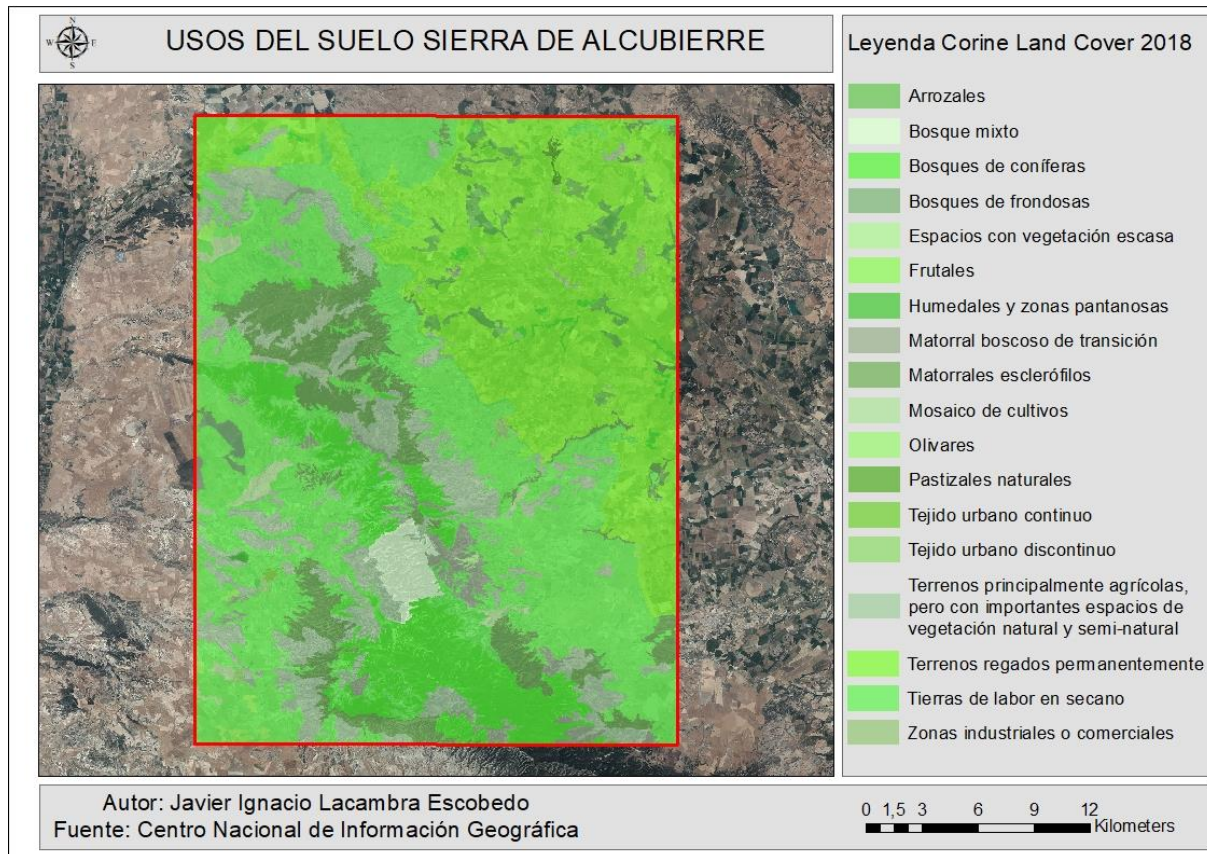


Figura 10: Mapa de usos del suelo de la Sierra de Alcubierre (nivel 3). Fuente: CNIG.

4.2. Corine Land Cover 2018 y SIGPAC

Tras la presentación de las series temporales en la zona de estudio, se incorporan los mapas del CLC 2018 (en sus tres niveles) y el del SIGPAC general.

4.2.1. Corine Land Cover 2018

Superficies artificiales (nivel 1)

Las superficies artificiales no han presentado cambios muy significativos en toda la serie temporal. Podríamos haber visto una fuerte variación en el caso de haber podido realizar el proceso de georreferenciación con los fotogramas de la CHE ya que, al haber sido tomados en 1927, podríamos haber contemplado el proceso de creación de los pueblos de colonización al completo (hecho más significativo en este apartado). La creación de espacios industriales sí que ha seguido un cambio importante dentro de la magnitud de la zona de estudio.

- Zonas urbanas (nivel 2): se trata de espacios urbanísticos, núcleos urbanos, pedanías, asentamientos... Los cambios más reseñables se producen desde 1980 a 2018. No son especialmente significativos.
 - Tejido urbano continuo (111): se trata de espacios con construcciones concentradas, generalmente correspondientes a núcleos urbanos importantes (grandes poblaciones). Solo encontramos bajo esta clasificación al municipio de Leciñena. En este apartado, la progresión y crecimiento descritos ha sido algo importante, con un aumento de la superficie gracias a la creación de varias urbanizaciones.



Ilustración 13: Municipio de Leciñena. Fuente: PNOA 2018.

- Tejido urbano discontinuo (112): se trata de espacios con edificaciones un tanto dispersas, sin concentración excesiva. Suelen corresponder a núcleos de población pequeños. En muchos casos ha habido que editar la capa y añadir estos espacios correspondientes. el resto de los municipios de la zona de estudio están incluidos bajo esta denominación. Ha habido algún caso en los que ha aumentado significativamente a través de la creación de nuevas urbanizaciones (Perdiguera), pero mayoritariamente, se conserva la superficie general existente en 1956, habiendo sido construidas o rehabilitadas algunas edificaciones, siempre dentro del tejido urbano. La dispersión sigue siendo habitual, aunque se ha comenzado a reducir (observado en los fotogramas de 1980 y las ortofotos actuales). Lo que sí ha

aumentado ha sido el nivel de equipamientos, como pueden ser las piscinas municipales y zonas deportivas, visibles desde los fotogramas de 1980.

En el caso de los pueblos de colonización, encontramos algunas variaciones importantes. En muchos casos, en 1956 no estaban completados todos los proyectos, ni a nivel urbanístico ni a nivel parcelario. En estos casos, la urbanización ha ido siendo completada (ya visible totalmente en los fotogramas de 1980) hasta nuestros días (creación de algunas pequeñas urbanizaciones), ya que han sido poblaciones en las que el éxodo rural no ha sido un fenómeno tan importante como en las de mayor entidad, e incluso se han podido atraer nuevos residentes (los casos de San Jorge y Artasona, por ejemplo). Además, algunas de estas localidades han ido aumentando también su nivel de equipamientos.



Ilustración 14: Municipio de Torralba de Aragón. Fuente: PNOA 2018.



Ilustración 15: Zona industrial en el municipio de Grañén. Fuente: PNOA 2018.

- Zonas industriales, comerciales y de transporte (nivel 2): se trata de espacios industriales, comerciales, logísticos... Ha habido cierta progresión, observada a partir de las imágenes de 1980, pero no especialmente significativa.

- Zonas industriales o comerciales (121): se trata de espacios con presencia de naves, eras y construcciones de carácter industrial o agrario. Apariencia de pequeños polígonos industriales. En el mapa, corresponden a dos zonas anexas a las localidades de Grañén y Robres. En muchos casos, son de carácter aislado con respecto a la población, generalmente con campos de cultivos alrededor (de ahí que sean pasados por alto en el CLC 2018). Además, en las imágenes del PNOA 2018, observamos un incremento notable de las granjas destinadas a la cría de ganado porcino y bovino (principales en la zona), que ya estaban presentes en los fotogramas de 1956 y 1980, pero que han experimentado un fuerte proceso de creación.

Las variaciones presentadas en el SIGPAC no son realmente importantes al tratarse de espacios urbanos, aunque en este caso, sí que son representados los pueblos de colonización (el CLC 2018 los sigue omitiendo, habiendo tenido que ser añadidos dentro de “tejido urbano discontinuo”).

Zonas agrícolas (nivel 1)

Las zonas agrícolas son las que mayores procesos de cambio han sufrido. En este contexto, con la creación previa del Canal de Los Monegros, las tierras de secano y regadío han sido a grandes rasgos ya definidas, pero no al completo. Existen zonas en los fotogramas de 1956 y 1980 que no estaban bajo la influencia del regadío (bien por dificultades técnicas o por la orografía) y que en la actualidad sí lo están. Además, la estructura parcelaria ha experimentado cambios muy importantes, fundamentalmente visibles gracias a la capa del SIGPAC, trazando un cambio temporal desde los fotogramas de 1956 hasta la actualidad, gracias a procesos de concentración parcelaria, roturación, eliminación de márgenes... que han dado lugar a un paisaje de cultivos más amplio y de mayores extensiones en cuanto a las propiedades. Aun así, el proceso no es del todo completo, tal y como se puede observar a día de hoy, pero puede que haya finalizado en unas décadas. Seguimos apreciando heterogeneidad marcada en zonas cercanas a pueblos, dejando las grandes superficies a zonas más alejadas. Esto, por tanto, se traduce a la fragmentación de las propiedades (visible en la capa).

En el apartado de los cultivos, los fotogramas no nos permiten saber con exactitud la tipología y superficie de los cultivos presentes en la actualidad con respecto a los existentes en los otros dos momentos de la serie temporal. El CLC 2018 no ofrece información detallada al respecto, siendo muy generalista y no entrando a detalle apenas (salvo casos muy concretos). Al encontrarnos en una zona donde se practica la rotación de cultivos anual, bianual o trianual (en el caso de la alfalfa aún es mayor el lapso de tiempo en el que está ocupado el campo por el cultivo), los datos ofrecidos podrían variar mucho tras cada año agrícola, así que solo se entra a clasificar como terrenos de secano o terrenos regados permanentemente, correspondiendo la clasificación de tierras de labor a casi un setenta y cinco por ciento de la superficie de la zona de estudio.

- Tierras de labor (nivel 2): nos encontramos con espacios agrarios, parcelario...
 - Tierras de labor en secano (211): se trata de espacios en los que el cultivo solo recibe aportes hídricos naturales, siendo artificial el proceso de fertilización y tratamiento fitosanitario. El periodo fenológico de desarrollo del cultivo va desde la época de siembra (Octubre-Noviembre) hasta la época de cosecha (Junio-Julio). Generalmente, se encuentran en las estribaciones de la Sierra de Alcubierre (en ambas vertientes), aunque también hay en superficies dentro de la zona de regadío que se encuentren por encima de la cota del Canal de Los Monegros. Presentan tonalidades marrones, ocre, doradas...
 - Terrenos regados permanentemente (212): se trata de cultivos regados de forma ocasional o frecuente, de aporte hídrico artificial (procedente principalmente del Canal de Los Monegros). El aporte fitosanitario y fertilizante también es artificial. Los encontramos a partir

del Canal de Los Monegros y en zonas anexas a núcleos urbanos (huertos). Presenta una variedad cromática en tonalidades de verde, aunque pueden presentar tonalidades amarillas si se encuentran en período de barbecho.



Ilustración 16: Secano en Torralba de Aragón. Fuente: PNOA 2018.



Ilustración 17: Regadío en Torralba de Aragón. Fuente: PNOA 2018.



Ilustración 18: Arrozal en Almuniente. Fuente: PNOA 2018.

- Arrozales (213): se trata de cultivos que son permanentemente regados. Su aporte hídrico es continuo (para evitar la penetración de sal en el subsuelo). Suele apreciarse como espacios de un color verde oscuro (producto de la frondosidad). Tienen importante presencia en la vertiente norte, extendiéndose entre el Canal de Los Monegros y el río Flumen.
- Cultivos permanentes (nivel 2): en este caso, se trata de cultivos que no presentan un sistema de rotación (anual, bianual o trianual), sino que lo mantienen por un período prolongado de tiempo. En la zona de estudio es probable que encontremos una importante variación, ya que el cultivo de la viña ya no existe, pero fue importante.
- Frutales (222): no son muy importantes, quedando en la vertiente sur y de forma muy localizada, encontrándose solo dos masas relativamente importantes en Leciñena (anexa al pueblo) y en el término municipal de Almudévar (cerca de San Jorge).



Ilustración 19: Frutales en Leciñena. Fuente: PNOA 2018.

- Olivares (223): se trata de cultivos leñosos de secano. Es un espacio muy residual, en el término municipal de Almudévar. Pueden aparecer en imágenes de la serie temporal, pero con poca importancia.



Ilustración 20: Olivar en Almudévar. Fuente: PNOA 2018.

- Zonas agrícolas heterogéneas (nivel 2): de poca definición visual concreta. Generalmente las podemos encontrar por toda la Sierra de Alcubierre y sus estribaciones, aunque es mucho más

importante en la zona de Leciñena y Perdiguera, generalmente en zonas de transición, mezcladas con zonas de vegetación; bosques y espacios con poca o sin vegetación. Han sido espacios de transformación.

- Mosaico de cultivos (242): se trata de espacios donde se mezclan, generalmente, variedades de cultivos de secano, de escasa extensión y alta concentración en un espacio pequeño de terreno.



Ilustración 21: Mosaico de cultivos en Leciñena. Fuente: PNOA 2018.

- Terrenos principalmente agrícolas, pero con importantes espacios de vegetación natural y semi-natural (243): Son parcelas que antiguamente fueron cultivadas y explotadas, pero actualmente se encuentran en proceso de abandono, siendo parcial y total la cobertura vegetal natural y semi-natural en ellas. Sin embargo, todavía se pueden apreciar claramente sus límites. Habitualmente, se encuentran repartidos por muchos puntos de la Sierra de Alcubierre, correspondiendo a zonas de elevada pendiente o difícil acceso para maquinaria agrícola (siendo poco rentable su explotación).



Ilustración 22: Terrenos principalmente agrícolas, pero con importantes espacios de vegetación natural y semi-natural en Torralba de Aragón. Fuente: PNOA 2018.

Zonas forestales con vegetación natural y espacios abiertos (nivel 1)

Ocupan más de un tercio de la superficie de la zona de estudio. A pesar de estar representada claramente en espacios de la Sierra de Alcubierre, residualmente, se pueden encontrar en la zona de

regadío (generalmente asociados a bosques de repoblación cercanos a diversas localidades). Es el espacio que, históricamente, mayores transformaciones ha sufrido.

Si tomamos en cuenta el elevado proceso de deforestación acontecido durante el s. XIX, tras los procesos de desamortización (fundamentalmente la de Madoz, en 1854-1856), en los que el monte fue dividido y vendido (en algunas poblaciones como Tardienta siguió siendo comunal), el parcelamiento y roturación de propiedades etc., podemos intuir que es un espacio que no presenta toda la extensión vegetal que debería.

Además, la práctica de la ganadería extensiva (ovino), contribuyó todavía más a este fenómeno de deforestación.

Sin embargo, el abandono de ciertas prácticas ganaderas y de muchas propiedades por parte de las personas que las poseían (por imposibilidad de cultivar debido a la orografía o cese de la actividad), sumado a las políticas de repoblación forestal (incentivadas en algunos municipios de manera especial), han contribuido a una progresiva colonización (artificial o natural) de la vegetación, dando lugar al espacio que hoy en día se conforma.

Previsiblemente, esta situación será cada vez más progresiva.

- Bosques (nivel 2): zonas de vegetación más espesa con presencia de especies arbóreas. Suelen estar representados por variedad cromática de verdes oscuros, siendo muy frecuentes en el entorno de la Sierra de Alcubierre. Podemos encontrar bosques de frondosas, coníferas y mixto.
 - Bosques de frondosas (311): bosque mediterráneo. Aparece en el término municipal de Zuera. Poco relevante en la zona de estudio, meramente testimonial.



Ilustración 23: Bosque de frondosas en Zuera. Fuente: PNOA 2018.

- Bosque de coníferas (312): se extiende por todo el sector central de la Sierra de Alcubierre, con especial presencia en la vertiente sur y en casi todo el espacio que abarca la Sierra dentro del término municipal de Alcubierre. La especie mayoritaria es el pino.



Ilustración 24: Bosque de coníferas en Alcubierre. Fuente: PNOA 2018.

- Bosque mixto (313): encontramos una importante zona de bosque mixto en el sector central de la Sierra. Se trata de una zona en la que se mezcla el bosque de frondosas con el de coníferas.

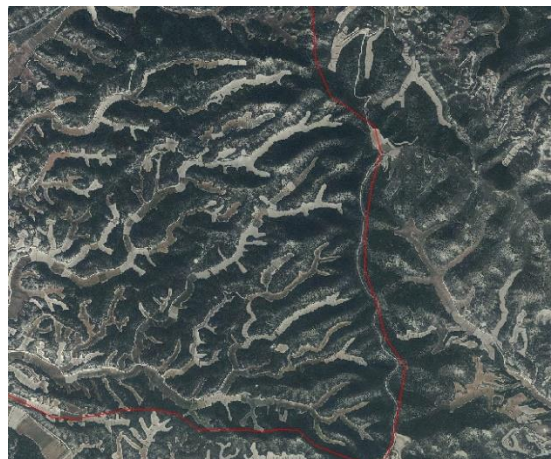


Ilustración 25: Bosque mixto en Leciñena. Fuente: PNOA 2018.



Ilustración 26: Pastizal en Sangarrén. Fuente: PNOA 2018.

- Espacios de vegetación arbustiva y/o herbácea (nivel 2): se concentran mayoritariamente por toda la Sierra, tanto en su núcleo como en las estribaciones, actuando como elemento de transición hacia bosques, ya que solo tienen porte arbustivo. Podemos encontrar:
 - Pastizales naturales (321): en este caso, solo encontramos uno, entre los términos de Barbués y Sangarrén. No tiene especial importancia.
 - Matorrales esclerófilos (323): se concentran a uno y otro lado de la Sierra, entre el núcleo de la misma y las tierras de secano, con fuerte presencia en el norte.



Ilustración 27: Matorrales esclerófilos en Torralba de Aragón. Fuente: PNOA 2018.

- Matorral boscoso de transición (324): se encuentra cerca de la zona de bosque mixto y de coníferas, con especial presencia en la zona central de la Sierra.



Ilustración 28: Matorral boscoso de transición en Alcubierre. Fuente: PNOA 2018.

- Espacios abiertos con poca o sin vegetación (nivel 2): son áreas donde el espesor de vegetación es realmente reducido, donde abunda el suelo desnudo. Puede deberse a la disposición orográfica del terreno (pendiente, orientación...) o al pastoreo (abundante en tiempos pretéritos).
 - Espacios con vegetación escasa (333): No son muy habituales. Corresponden a espacios en los que generalmente encontramos paredes verticales y pendientes muy pronunciadas, lo que dificulta el desarrollo de vegetación (presentes en el fondo de ellos).



Ilustración 29: Barranco en Alcubierre. Fuente: PNOA 2018.

Zonas húmedas (nivel 1)

No son muy importantes. Solo se contempla una (Leciñena), la cual sí que presenta algunos cambios.

- Zonas húmedas continentales (nivel 2):
 - Humedales y zonas pantanosas (411): encontramos los Humedales Salinos de Leciñena. De forma dispersa, podemos encontrar pequeñas balsas de riego o abrevaderos naturales, pero no han sido representadas en esta capa.



Ilustración 30: Humedales salinos de Leciñena. Fuente: PNOA 2018.

4.2.2. SIGPAC

Una vez presentados los resultados del CLC 2018, y con el objetivo de no saturar el análisis, se presenta a continuación el mapa del SIGPAC para la zona de la Sierra de Alcubierre.

El mapa del SIGPAC está realizado sin incluir los límites de las parcelas, ya que debido a la fragmentación del parcelario y las propiedades, el resultado sobrecargaría la imagen y no podríamos apreciar adecuadamente la composición. La leyenda incluye la clasificación de los elementos que están presentes en la zona de estudio.

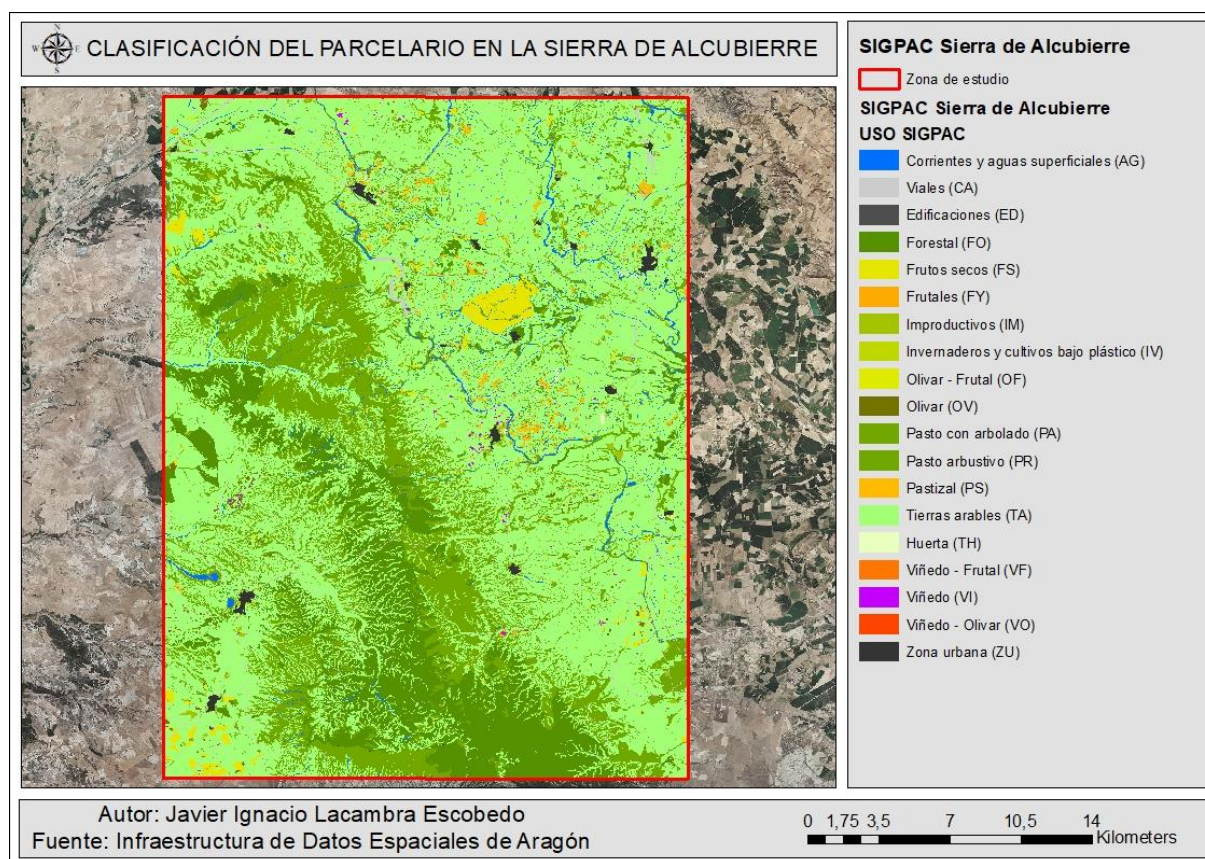


Figura 11: Mapa de clasificación del parcelario de la Sierra de Alcubierre. Fuente: Infraestructura de Datos Espaciales de Aragón (IGEAR).

Como se puede apreciar, existe un dominio realmente importante de las “tierras arables”, tanto a un lado como a otro de la Sierra, en el que la presencia del resto de la clasificación es residual en comparación con el porcentaje de representación de las “tierras arables”, concentrándose en espacios muy concretos.

El “pasto con arbolado” y “pasto arbustivo” se encuentra fundamentalmente en la zona de la Sierra. Sumado al “forestal”, ocupan el resto de la superficie de la zona de estudio. Estos tres elementos se entremezclan en este espacio, aunque es el “forestal” el que ocupa el núcleo central de la Sierra, además de espacios en la vertiente sur y noroccidental. El “pasto arbustivo” y el “pasto con arbolado” se alternan en el espacio de la Sierra, aunque el “pasto con arbolado” se encuentra en mayor porcentaje en la vertiente sur y occidental. Es el “pasto arbustivo” es el que mayor presencia tiene, tanto en la vertiente norte como oriental. Como “corrientes y aguas superficiales” podemos apreciar el Canal de Los Monegros y el río Flumen.

4.3. Análisis de teledetección

El análisis de teledetección sobre la zona de estudio se incorpora como complemento al proceso de fotointerpretación y digitalización, pero no es un elemento transversal dentro del trabajo, sino que sirve como apoyo para aportar un mayor nivel de información, de ahí que su desarrollo no vaya a ser tan extenso como el dedicado a los puntos anteriores.

4.3.1. Composiciones de color

En este apartado se presentarán las composiciones de color que mayor pertinencia tengan con respecto al estudio.

Se han realizado todas las combinaciones posibles que existían y que tenían un mínimo de coherencia con respecto a la temática del trabajo. Esto es, aquellas que nos permitiesen detectar y analizar los cambios en los usos del suelo y vegetación de nuestra superficie de trabajo. Las composiciones son:

- Vegetación (4/3/2 para Landsat 5 y 5/4/3 para Landsat 8):

Estas combinaciones se utilizan para identificar los límites entre el suelo y el agua, además de las variaciones en la vegetación. En el caso de la vegetación, la cual se presenta en una escala cromática de rojos, a mayor presencia del mismo, en mejor estado se encuentra (sana y desarrollada). En rosa, se representan áreas vegetales menos densas o con menor grado de desarrollo. El agua se representa en una tonalidad de azul oscuro, mientras que suelos y zonas con poca vegetación lo hacen en tonalidades de azul (blanco, en algunos casos). En marrón, aparecen las zonas de vegetación arbustiva variable, correspondiendo una tonalidad más dorada a aquellas zonas de transición.

Podemos apreciar cambios en la zona de regadío (Landsat 8), donde se ha producido un aumento de la información con respecto a la aportada por Landsat 5 (1985). En este caso, las tonalidades de rojo corresponden a campos de cultivo, siendo rosa o blanco el correspondiente a parcelas en barbecho o espacios de poca o nula vegetación, a diferencia de la escala aportada en la imagen correspondiente al año 1985, en donde la presencia de color se reduce casi a rojo o azul (cultivos de regadío en producción o en barbecho).

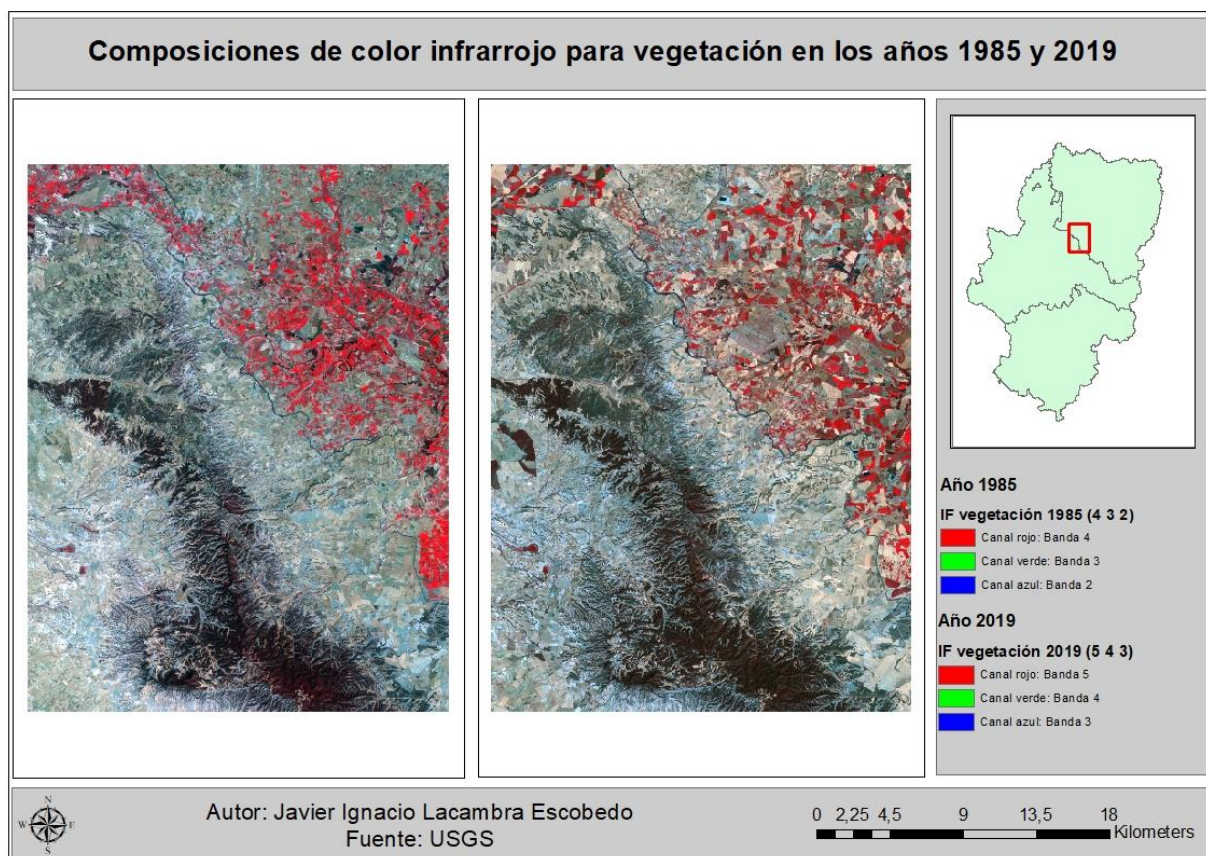


Figura 12: Composición de color IF para vegetación en los años 1985 y 2019. Fuente: USGS.

En la zona de transición, parece mayor la presencia de suelo desnudo (tonalidades azules claras y blancas), así como la de zonas arbustivas y transicionales. En la imagen de 1985, el grado de detalle es menor, pero la tendencia parece ser la misma.

En la zona de Sierra, sin embargo, sí que se aprecian variaciones. Aparecen tonalidades de marrón y azul, indicando presencia de vegetación arbustiva (aumenta significativamente al Norte) y arbórea.

- Agricultura (5/4/1 para Landsat 5 y 6/5/2 para Landsat 8):

Esta composición es la más indicada para labores de identificación de zonas de uso agrícola. La vegetación está expresada en tonalidades de verde. Las parcelas están expresadas en un tono verde brillante, mientras que las masas forestales quedan representadas por tonalidades más oscuras ("verde oliva" para coníferas, verde más brillante para caducifolias). Las zonas urbanas son asociadas a tonalidades magenta.

Se aprecia una mayor densificación general de la vegetación en la Sierra, particularmente en la zona norte. En la zona sur, vemos que ha aumentado la superficie destinada a masas forestales.

A pesar de parecer que la superficie destinada al aprovechamiento agrícola es menor, la realidad es distinta, ya que los espacios en los que las tonalidades se acercan a colores amarillos también son zonas agrícolas (no cultivadas), habiendo aumentado la superficie de terreno destinada al aprovechamiento agrícola en la zona de regadío.

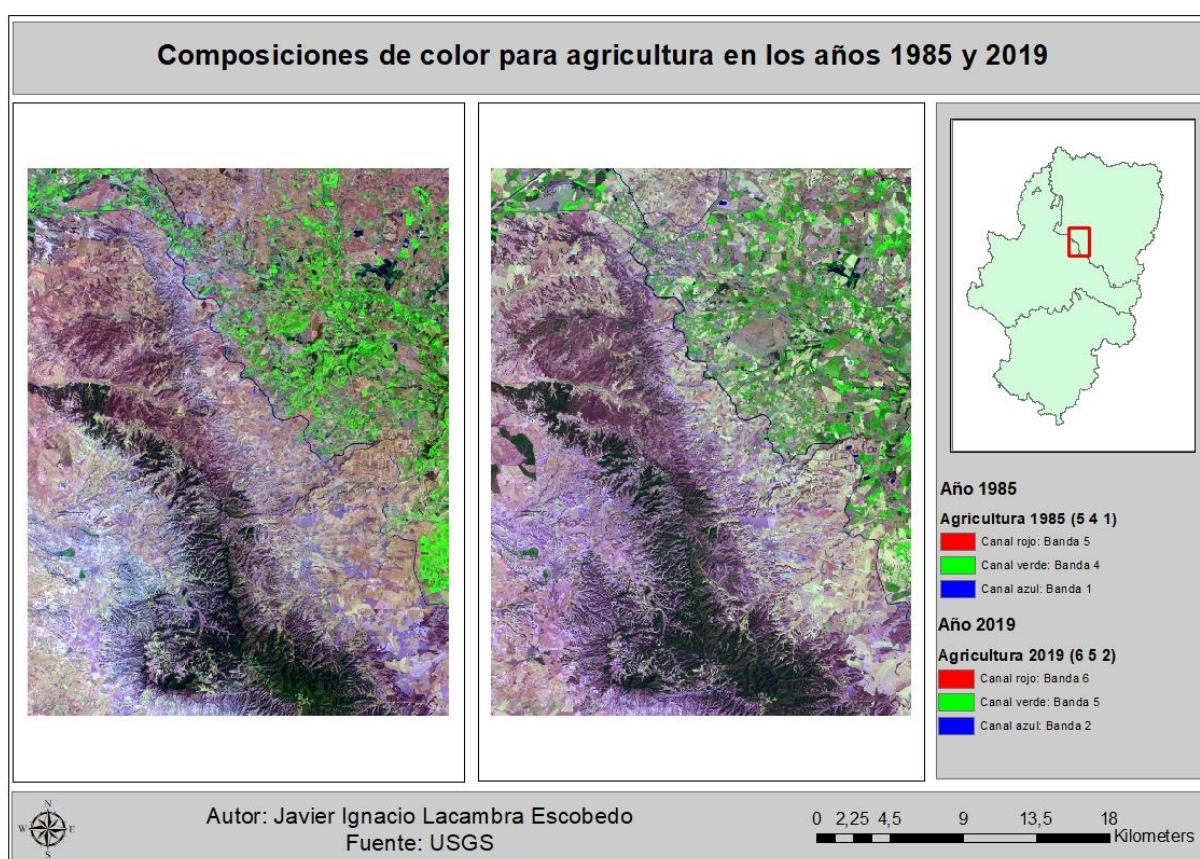


Figura 13: Composición de color para agricultura en los años 1985 y 2019. Fuente: USGS.

- Agua y usos del suelo (4/5/3 para Landsat 5 y 5/6/4 para Landsat 8):

En esta composición, se realzan las diferencias de humedad en el suelo. Se utiliza para el análisis de la humedad en suelo y la vegetación. La vegetación se aprecia en tonalidades marrón, verde y amarilla. Por el contrario, tanto el suelo desnudo como las zonas urbanas se representan de color azul.

Los principales cambios se muestran de nuevo en la zona norte, además de en la oeste (ambos casos en la Sierra), donde la vegetación ha aumentado. Encontramos una mayor humectación, por lo general.

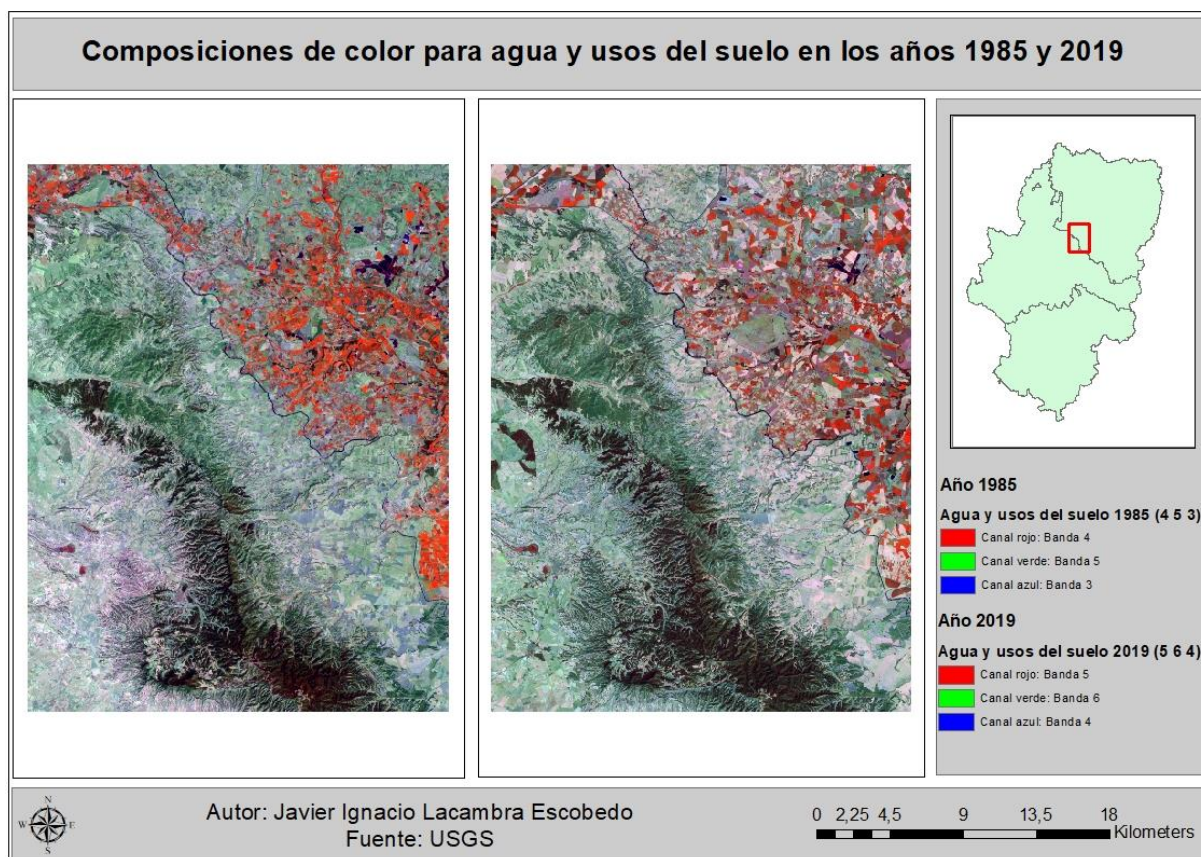


Figura 14: Composición de color para agua y usos del suelo en los años 1985 y 2019. Fuente: USGS.

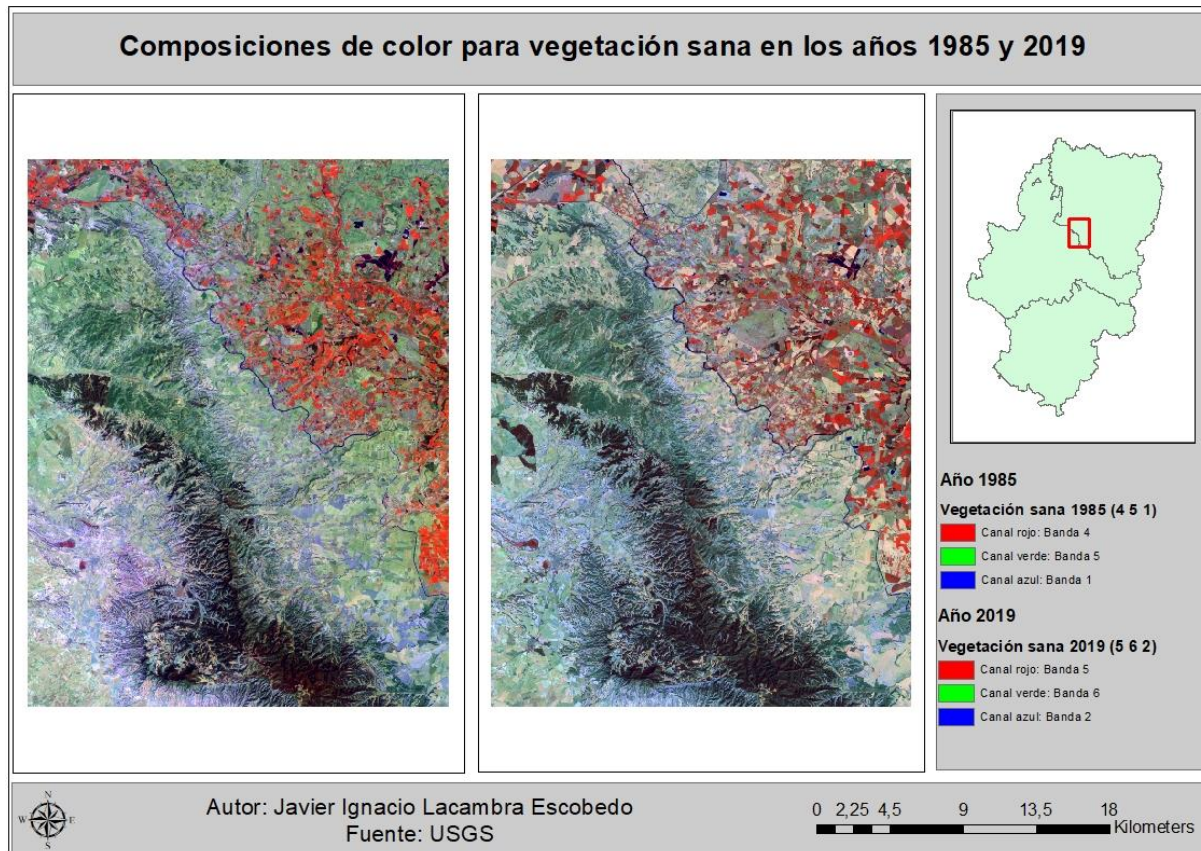


Figura 15: Composición de color para vegetación sana en los años 1985 y 2019. Fuente: USGS.

- Vegetación sana (4/5/1 para Landsat 5 y 5/6/2 para Landsat 8):

Se utiliza en estudios de vegetación, debido al aumento de la sensibilidad de detección por etapas del crecimiento de las plantas o del estrés hídrico. La vegetación sana se representa en tonos rojizos; marrones; naranjas y amarillos. Los suelos, se presentan en tonalidades verdes y marrones. Los espacios urbanos, se representan en blanco o en azul cian. Las zonas azules brillantes corresponden a áreas que han sufrido procesos recientes de tala (deforestación). Las áreas rojizas corresponden a zonas con vegetación nueva. La representación de grises corresponde a pastizales ralos. Para finalizar, el agua se representa en color azul, siguiendo una escala en la que una mayor apariencia oscura determina mayor profundidad.

4.3.2. NDVI

En este apartado se procede a la presentación de los resultados hallados tras el cálculo del NDVI.

En primer lugar, se ha realizado el cálculo del NDVI correspondiente a cada imagen de nuestros dos períodos de estudio (es decir, de los años 1985-1989 y 2015-2019), obteniendo un total de diez composiciones, las cuales han sido trasladadas a un archivo independiente. Al tener dos períodos temporales diferentes, en primer lugar, se ha calculado el promedio de los NDVI de cada uno de los dos períodos, con el objetivo de establecer una clasificación de valores identificativos sobre el NDVI.

Cualquier píxel que ofrezca valores inferiores a 0,15 no representa vegetación. Por encima de 0,15 y por debajo de 0,30, representa vegetación escasa o casi nula. Entre 0,30 y 0,40, el píxel tiene parcialmente vegetación. Por encima de 0,40 y hasta 0,60, existe vegetación total y sana. Por encima de 0,60 y hasta 0,80, la densidad y el vigor vegetal es elevado, pero sin llegar al máximo. Entre 0,80 y 1, el vigor vegetal y la densidad ya son considerados como máximos.

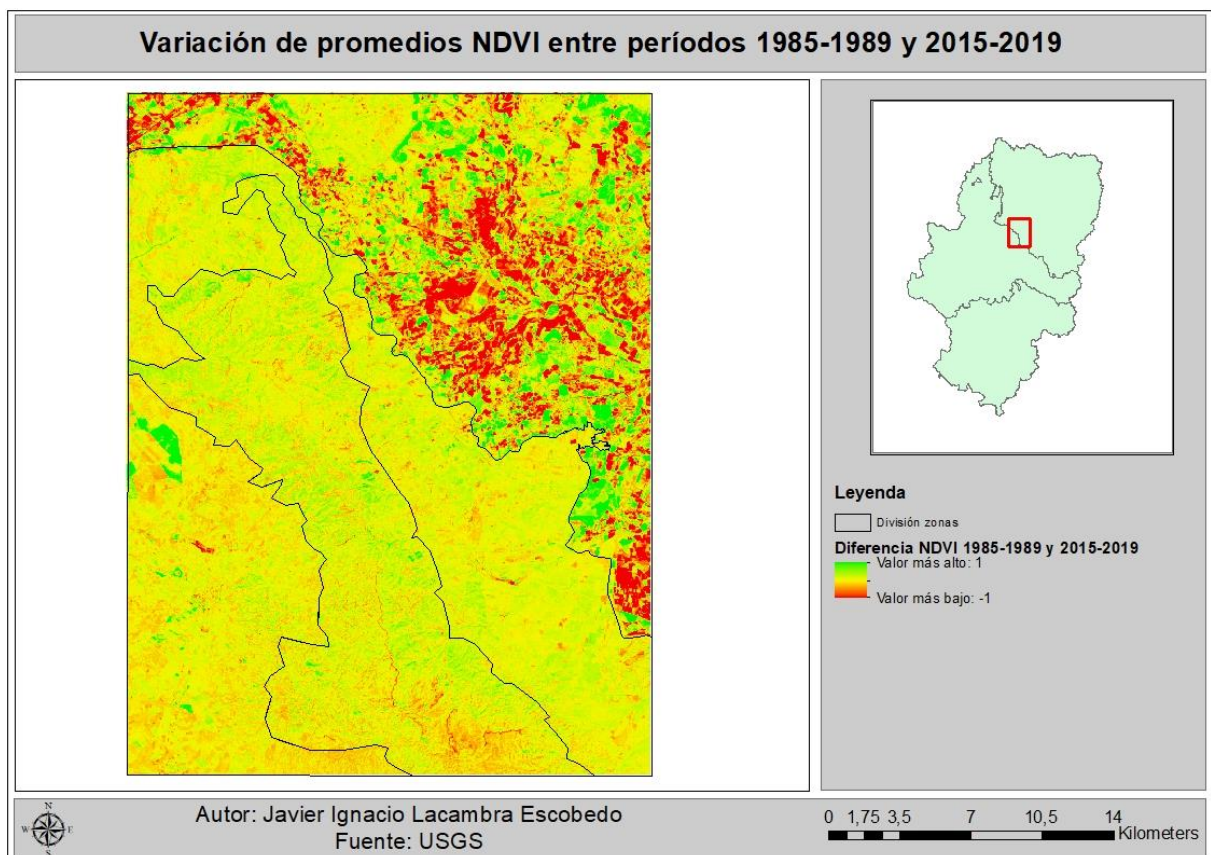


Figura 16: Diferencia del NDVI promedio para los años 1985-1989 y 2015-2019. Fuente: USGS.

Tras ello, para poder hallar la variación de NDVI entre los períodos 1985-1989 y 2015-2019, en primer lugar, se procede al cálculo a través de “raster calculator”, restando los valores del segundo período a los del primero, para poder apreciar una aproximación más lógica a los cambios. Esto permite identificar qué píxeles han ganado o perdido valores relativos al NDVI, lo que es posible al ser representados en el rango -1 y +1 a través de una paleta de color gradual que aumenta desde el rojo (valor de -1), pasa por el amarillo (sitúa el valor intermedio del 0) hasta llegar al verde (valor máximo de +1). En este caso, el producto generado verá aplicado un realce gaussiano (con una desviación estándar de 2).

Fundamentalmente, las variaciones (tanto positivas como negativas) se pueden apreciar en la zona de regadío, debidas probablemente a los períodos fenológicos de los cultivos y al sistema de ciclos de producción elegido para las diferentes parcelas. En la zona de transición, generalmente se mantienen los valores más próximos al neutro (0) dentro del índice que a los otros dos. En la zona de Sierra, sí que se aprecian variaciones más importantes, correspondiendo a parcelas abandonadas o espacios en los que se haya dado lugar colonización vegetal (en el caso de valores más cercanos al 1), así como un aumento en el vigor de los bosques, y en algunas zonas de barrancos y bosques (más cercanos a valores negativos) que habrán podido experimentar procesos de erosión o pérdida de vigor vegetal.

Además, realizaremos una composición RGB para poder observar las diferencias entre el primer período (1985-1989), el cual será situado en el canal rojo, y el segundo período (2015-2019), situado en los canales verde y azul. En este caso, cuanto mayor sea la luminosidad del píxel y la intensidad de color verde, habrá aumentado más el NDVI. Por el contrario, a menor luminosidad y mayor presencia del rojo, indicará lo contrario. En este caso, el realce será lineal (mínimo-máximo de -1 y +1).

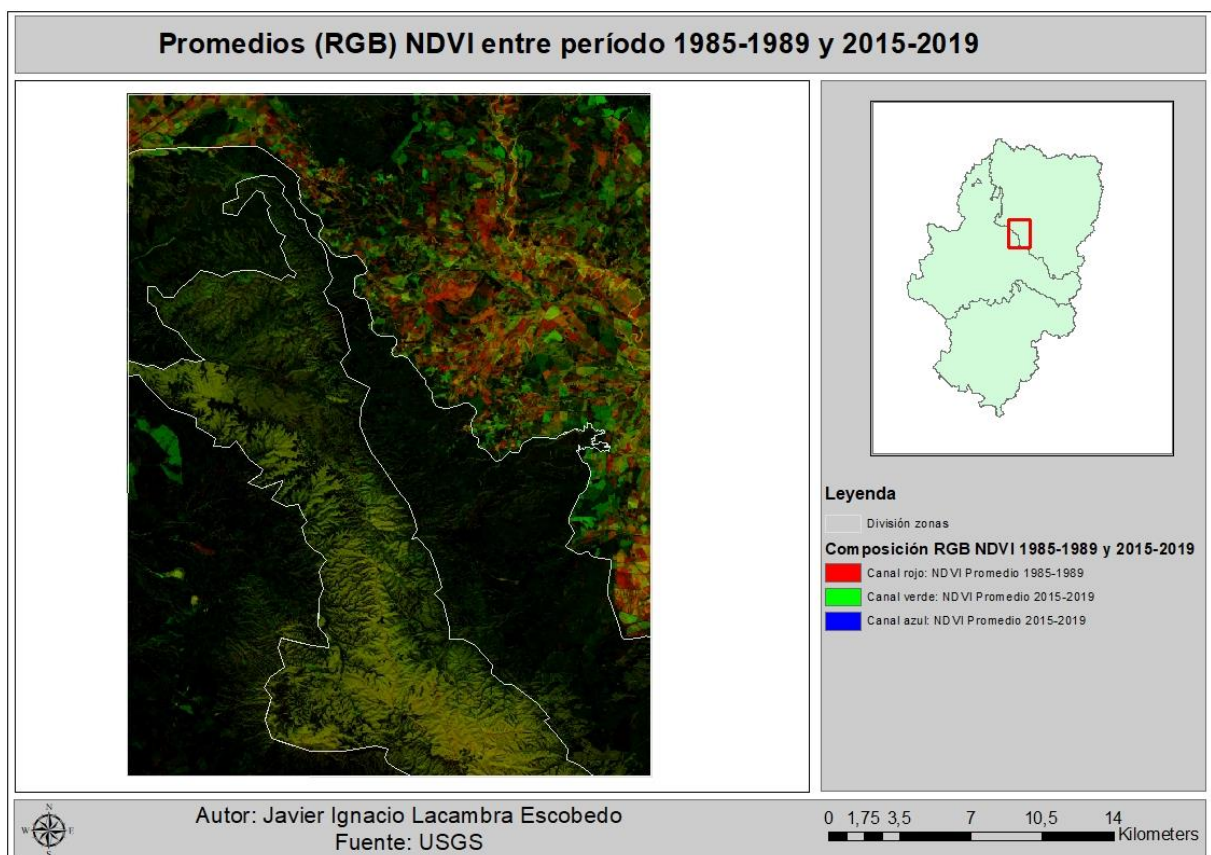


Figura 17: Composición RGB del NDVI entre período de 1985-1989 y 2015-2019. Fuente: USGS.

La presencia abrumadora de tonalidades verdes oscuras no significa necesariamente que haya habido un crecimiento en la actualidad, ya que hay que recordar que la disposición del segundo período (más próximo a la actualidad), se encuentra en el canal verde y azul, de ahí que la composición RGB refleje tantos valores de verde oscuro debido al peso similar entre los dos bloques. Por tanto, se debe reseñar que no existe una variación muy elevada con respecto a las tonalidades rojas en este caso (Romero, 2019).

4.3.3. Composiciones Tasseled Cap

Como el NDVI solo tiene en cuenta dos bandas de información, el Tasseled Cap será de utilidad a la hora de obtener un análisis mucho más completo, ya que utiliza seis bandas y las traduce en composiciones con mayores matices (mejor identificación visual). La ventaja es que, además del vigor vegetal, también quedan representados el suelo y la humedad.

En primer lugar, se procederá a realizar los cálculos para cada elemento del Tasseled Cap (brillo; verdor y humedad), teniendo en cuenta los coeficientes para cada banda en función del índice que se desee calcular. De esta forma, obtendremos un índice para cada período de estudio (1985-1989 y 2015-2019), del cual se procederá a realizar una composición RGB y una muestra de las variaciones entre los resultados del cálculo de los índices de cada período. A la composición RGB se le aplicará un realce lineal de valores mínimos y máximos (se especifica en cada leyenda), mientras que a la cartografía de variaciones entre períodos se le aplicará un realce lineal (desviación estándar de 2).

Tras ello, se procederá a la elaboración de una cartografía global y comparativa de los tres índices. En este caso, los parámetros serán los siguientes:

- Canal rojo: Brillo.
- Canal verde: Verdor.
- Canal azul: Humedad.

4.3.3.1. Brillo

En este caso, tras aplicar los cálculos para los coeficientes y bandas, se obtiene un resultado promedio para cada período. Una vez realizado, se procede a realizar la diferencia entre el segundo período (2015-2019) y el primero (1985-1989) (**figura 18**), además de una composición RGB, en la que el canal rojo queda ocupado por el promedio de brillo del primer período y los canales verde y azul por el promedio del segundo período.

Recordemos que, el brillo, refleja los cambios en la reflectividad total de la escena. Por tanto, los valores cercanos al azul más oscuro ofrecen una reflectividad elevada, lo que nos indica que la presencia de vegetación en estos espacios apenas ha variado con respecto al período inicial, siendo baja, ya que corresponden con zonas de transición o secano. Los valores cercanos a un tono azul aguamarina ofrecen valores de reflectividad relativamente bajos, correspondiendo a zonas de vegetación importante, en nuestra zona de estudio asociadas a bosque; matorral y regadío en producción. Para apreciar un resultado de forma más evidente, se presenta también la composición RGB (**figura 19**) mencionada anteriormente, donde tonalidades de azul oscuro (casi verde) corresponden a espacios de vegetación sin apenas variación entre las dos series temporales. En este caso, además, las parcelas de regadío (que presentan un tono azul cielo más uniforme y mejor percibido que en la imagen de variación), al seguir un patrón cíclico de producción no mantienen un brillo constante, ya que se alternan años en los que se cultiva (incluso, por cercanía a las fechas, puede haberse realizado la cosecha) y otros en los que no). El resultado es el siguiente:

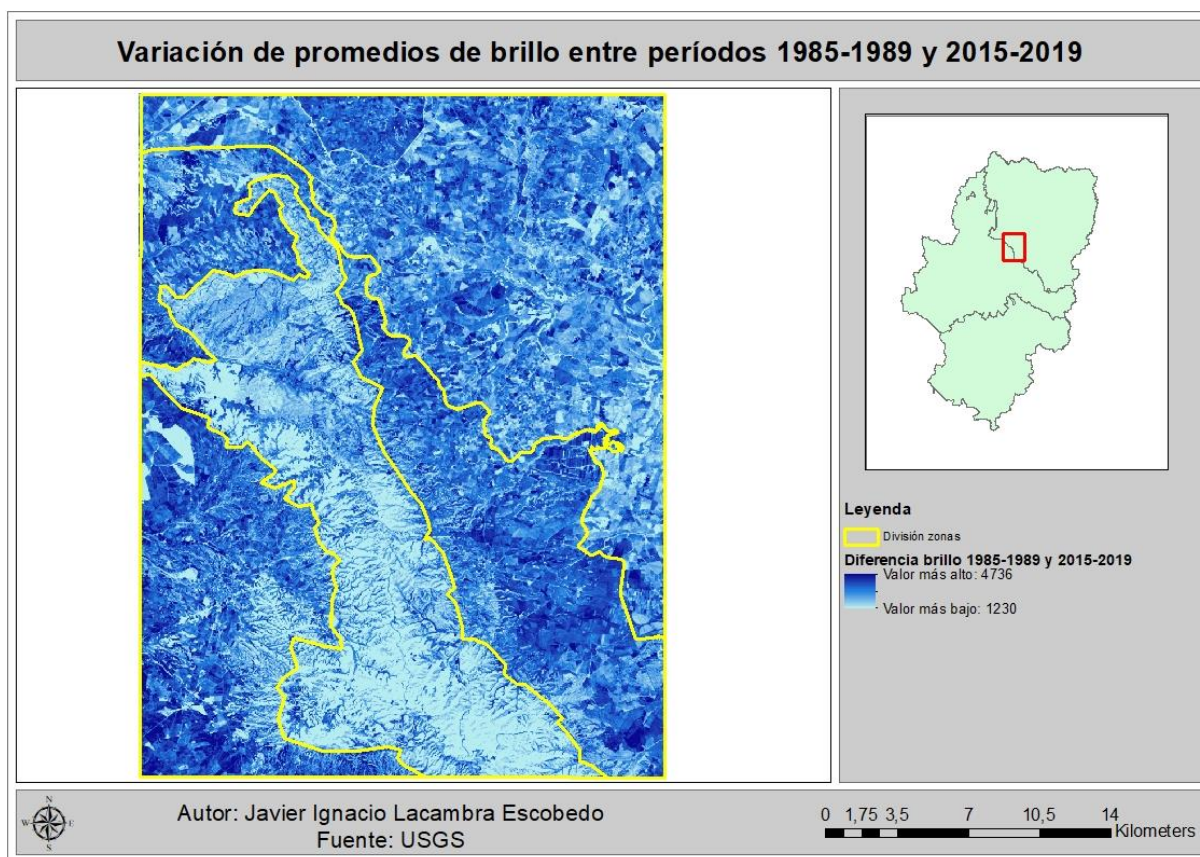


Figura 18: Variación del brillo promedio para los años 1985-1989 y 2015-2019. Fuente: USGS.

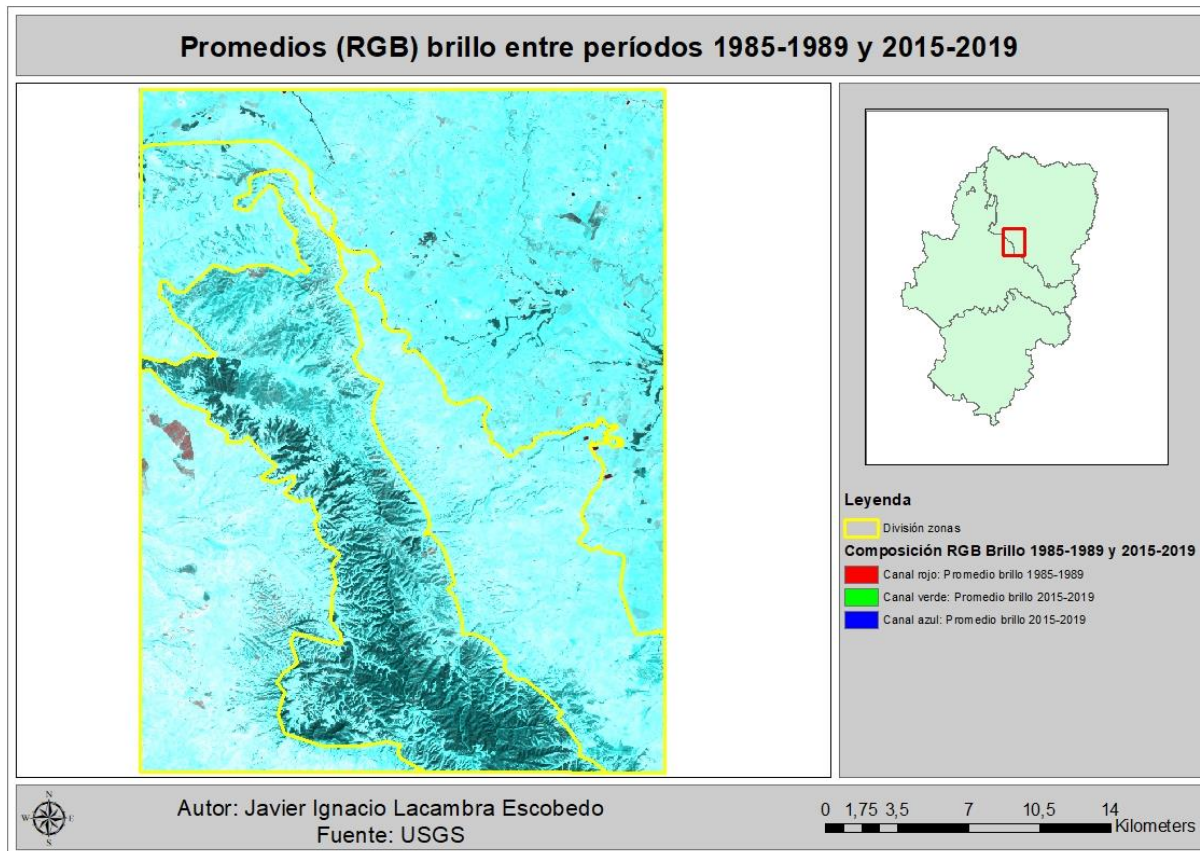


Figura 19: Composición RGB brillo entre períodos 1985-1989 y 2015-2019. Fuente: USGS.

4.3.3.2. Verdor

El proceso es idéntico al realizado en el índice de brillo. En este caso (**figura 20**), los valores representados por colores verdes han experimentado un aumento de la actividad vegetal muy elevado, mientras que, los de tonalidades que se encuentran entre estos y los naranjas muy enrojecidos no presentan un aumento tan importante (gradualmente). Es decir, que valores superiores a 0 cercanos al naranja sí que han experimentado alguna variación, pero no especialmente intensa. Es el caso de la Sierra, en la que podría parecer lo contrario (vista la imagen), que ha habido pérdida de valores de verdor. Sin embargo, los valores de pérdida son relativamente anecdóticos en este espacio. Las mayores ganancias de verdor se han dado en partes de la zona de transición (secano) y en la zona de regadío (de forma muy importante), probablemente debidos a la dinámica de los cultivos o aumento de la vegetación natural.

En la composición RGB (**figura 21**), en la que el canal rojo es utilizado por el período de 1985-1989 y los otros dos canales lo son por el período de 2015-2019, los valores de pérdida de verdor se representan con colores rojos, observando que se corresponden con la zona de regadío (demostrando lo anteriormente expuesto sobre la Sierra, que obtiene valores grises, azulados y verdosos), yendo gradualmente hacia el azul, que termina recogiendo las variaciones de verdor más importantes. Estos son los resultados:

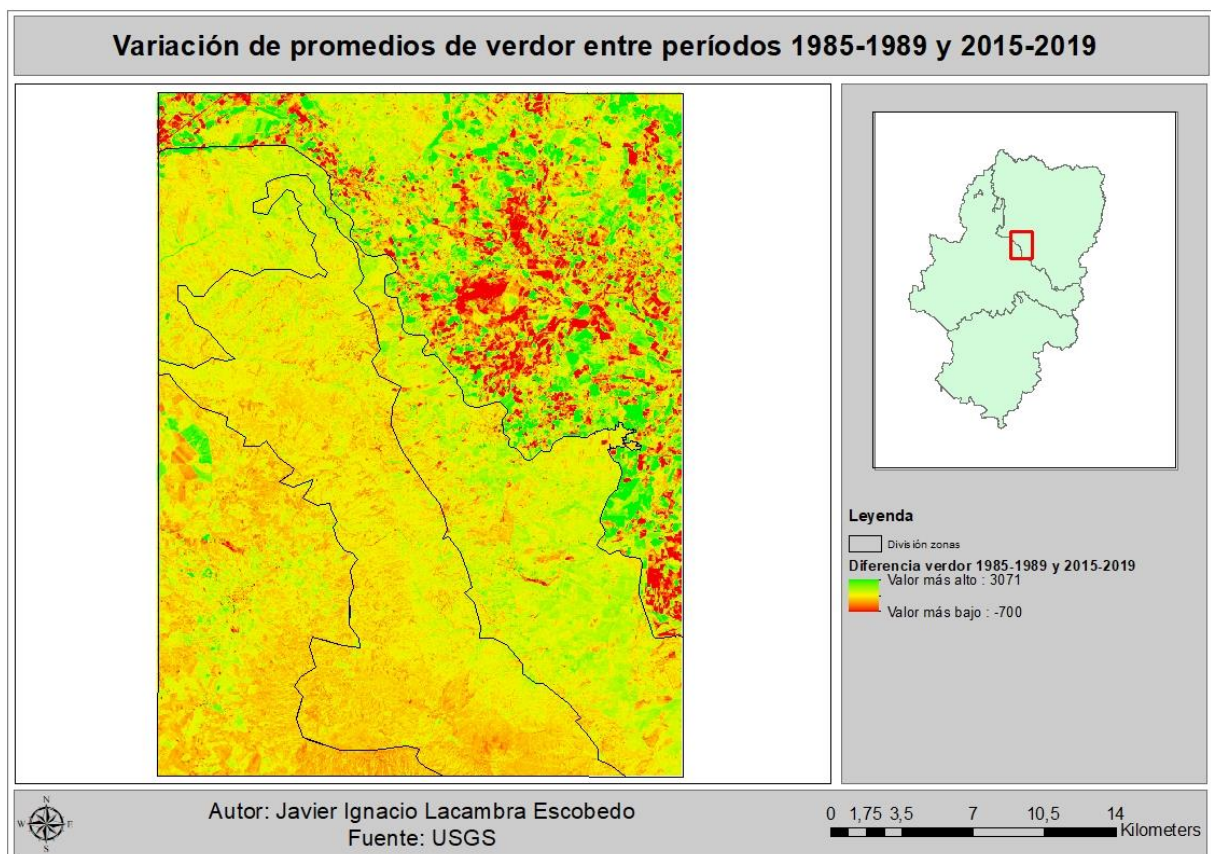


Figura 20: Variación del verdor promedio para los años 1985-1989 y 2015-2019. Fuente: USGS

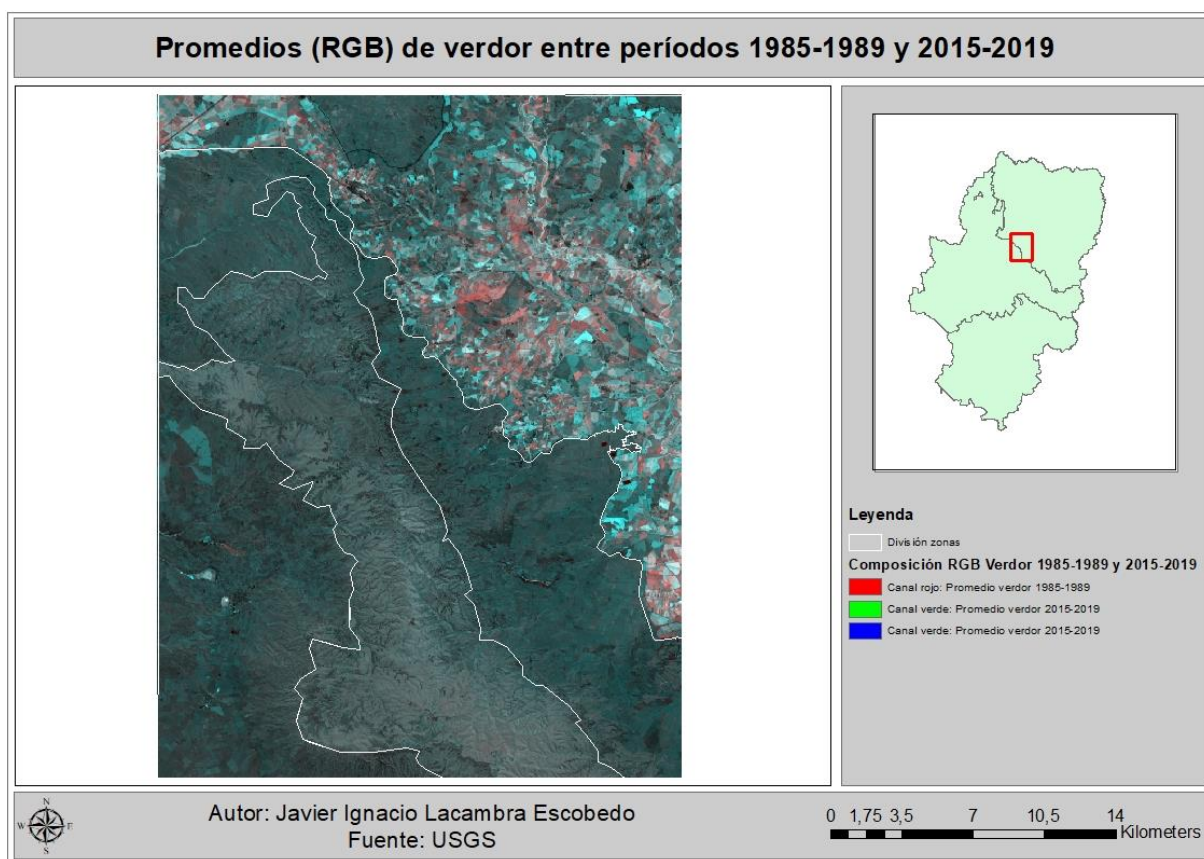


Figura 21: Composición RGB Verdor entre períodos 1985-1989 y 2015-2019. Fuente: USGS.

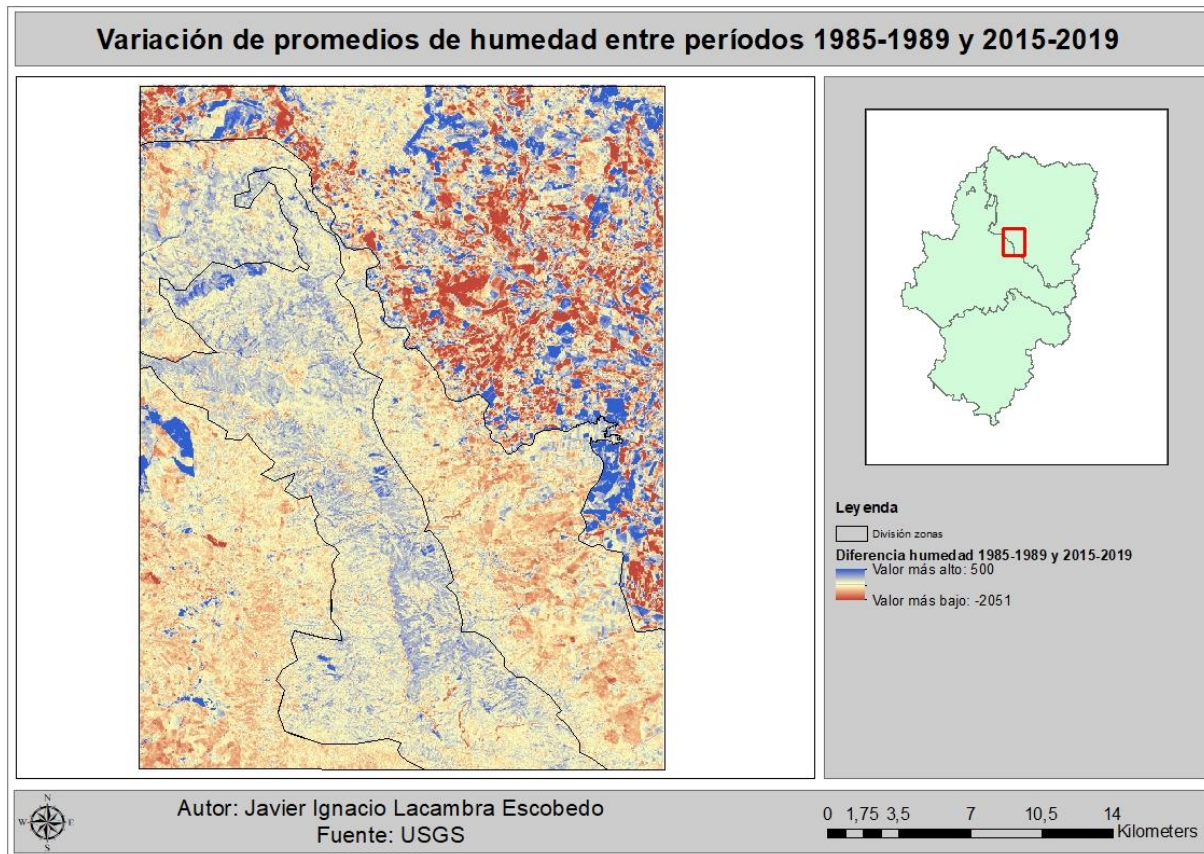


Figura 22: Variación de la humedad promedio para los años 1985-1989 y 2015-2019. Fuente: USGS.

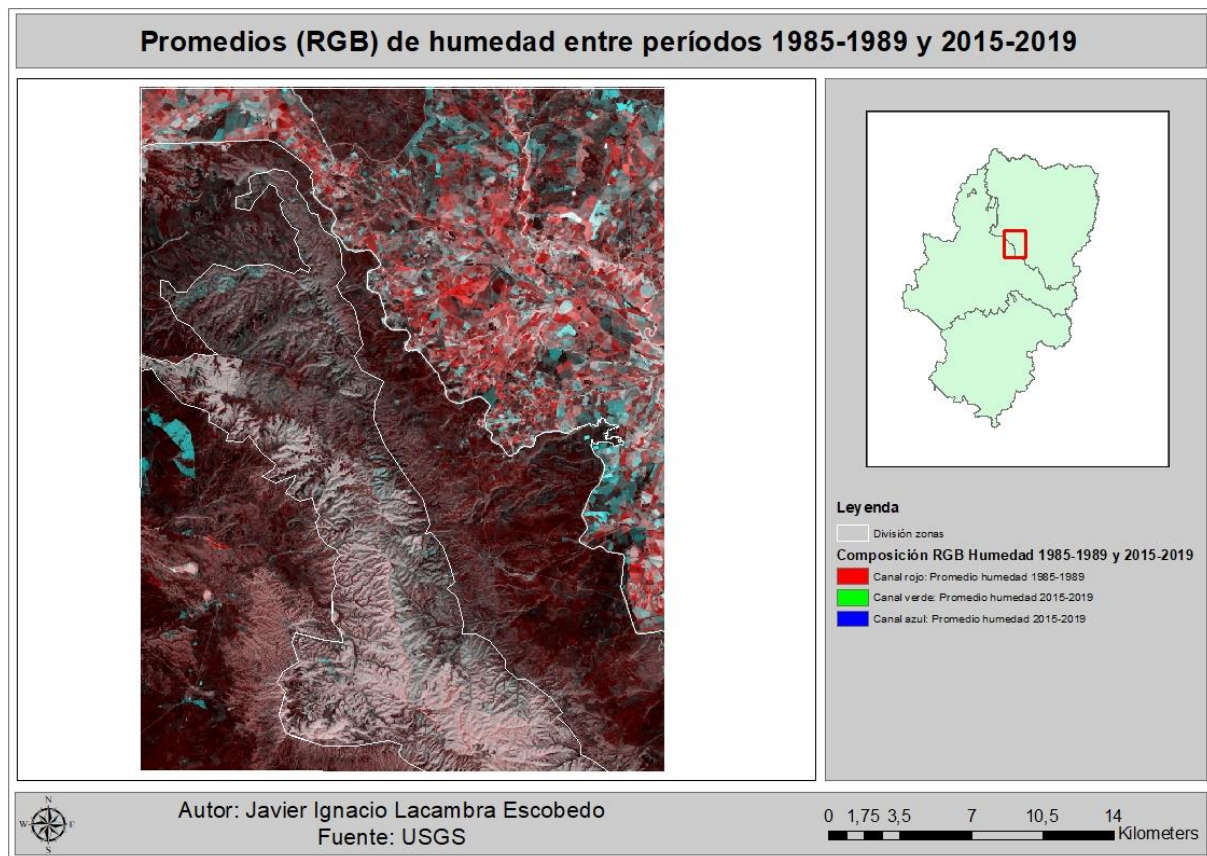


Figura 23: Composición RGB humedad entre períodos 1985-1989 y 2015-2019. Fuente: USGS.

4.3.3.3. Humedad

De nuevo, el proceso de cálculo y obtención de resultados es idéntico al de los dos índices anteriores. En este caso, la variación entre los promedios (**figura 22**) nos muestra cierta regresión en cuanto al contenido de humedad se refiere (casi representado exclusivamente por píxeles de color azul), registrando las variaciones más importantes en sentido positivo en la zona de la Sierra y, en mayor proporción, en las parcelas de regadío. Debemos explicar que, la intensidad del color azul, puede estar relacionada directamente por procesos recientes de irrigación. Por el contrario, la zona de transición y partes concretas de la Sierra muestran una regresión leve en el contenido de humedad. Para finalizar, basta con observar que los cambios más importantes se producen en las zonas de regadío (no cultivadas o recientemente cosechadas) y de secano (en menor medida si lo comparamos con la zona de regadío). Hay que tener en cuenta que los períodos se sitúan alrededor del primer día de Julio, es decir, dentro del verano (estación del año en la que menos precipitaciones se registran), de ahí que los datos ofrezcan esta relación. La composición en RGB (**figura 23**) refuerza lo anteriormente expuesto, mostrando el rojo como color que representa variaciones negativas (a mayor intensidad, mayor variación), dejando tonalidades de grises y azules para aquellos valores que registren una variación positiva (concentrados en parcelas de regadío y Sierra).

4.3.3.4. Composiciones Tasseled Cap

Las composiciones de brillo; verdor y humedad se combinan para dar lugar a una composición RGB para el primer período (1985-1989) y otra para el segundo (2015-2019), las cuales se presentan (**figura 24**) para su comparación.

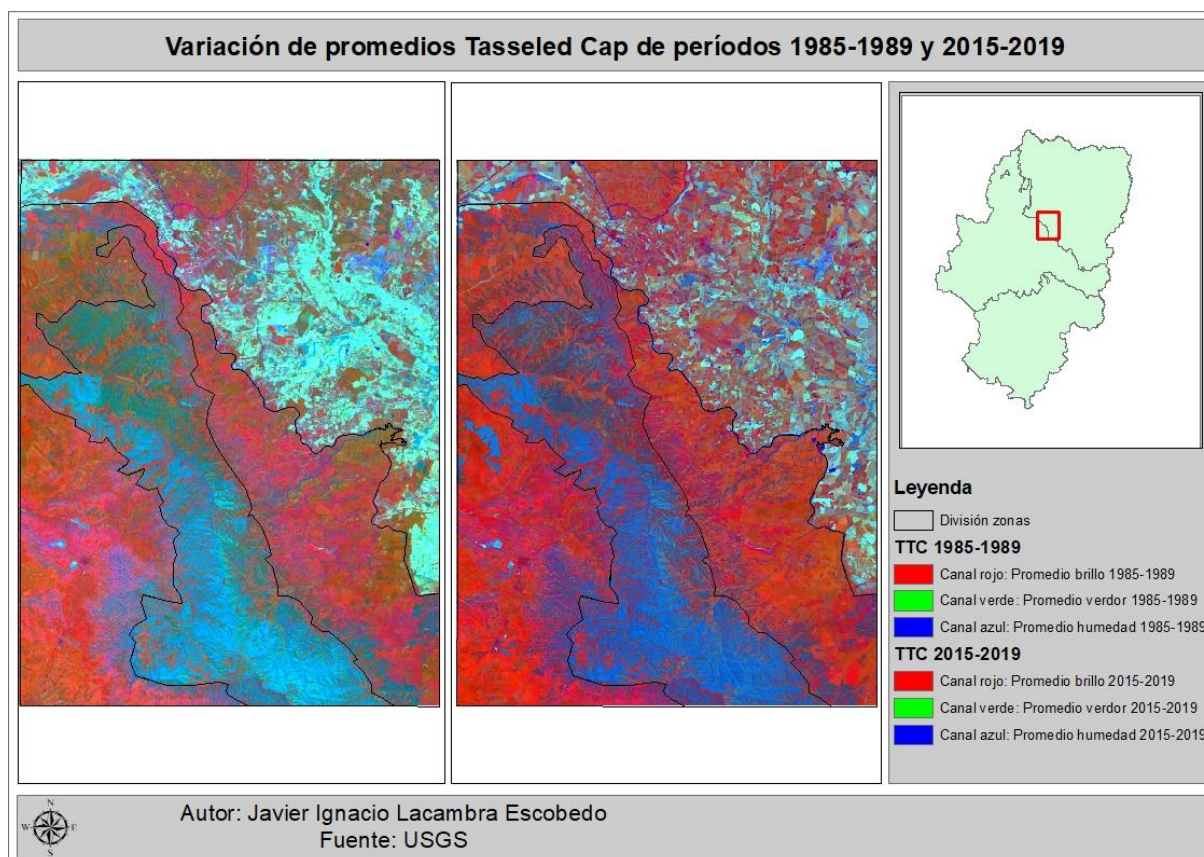


Figura 24: Variación de promedios de Tasseled Cap entre períodos 1985-1989 y 2015-2019. Fuente: USGS.

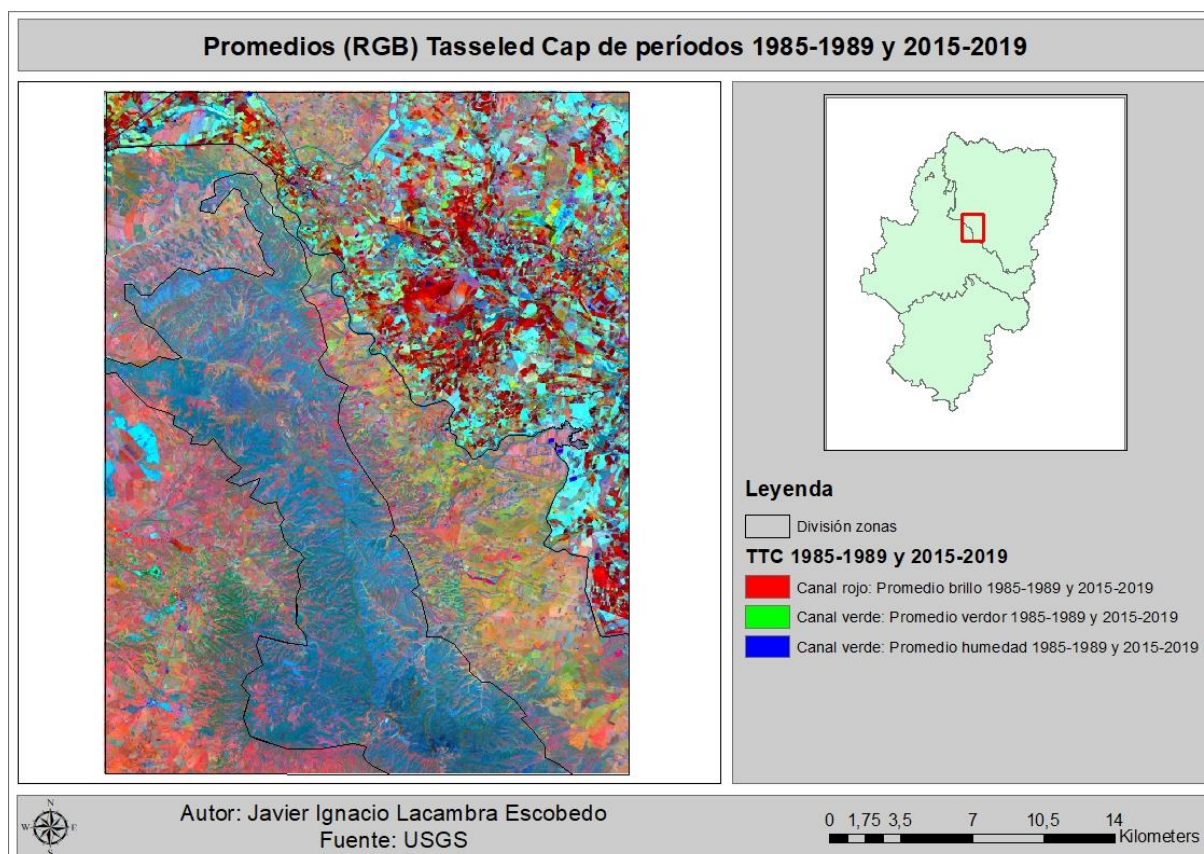


Figura 25: Composición RGB de promedios TTC entre períodos 1985-1989 y 2015-2019. Fuente: USGS.

En esta comparativa se muestra la realidad de cada período. Vemos que, progresivamente, el brillo ha aumentado en el período, no experimentando lo mismo el verdor (son más frecuentes los marrones) y reduciendo los valores de humedad a la Sierra y a algunas parcelas de secano.

Para finalizar, se presenta el Tasseled Cap final (**figura 25**), realizando una composición RGB de todas las variaciones, correspondiendo el canal rojo a la variación del brillo entre ambos períodos; el verde a la variación del verdor y, el azul, a la de la humedad.

4.4. Estudio de caso sobre cuadrículas en las series temporales

En este apartado se procede a la superposición y comentario de la imagen seleccionada para cada serie temporal. Paralelo a ello, también se realizará un breve desarrollo de la evolución de las diferentes entidades presentes en las capas utilizadas para el análisis genérico de la zona de estudio. Esto es, se presentarán varios estudios de caso concretos y localizados para evaluar su transformación en función de las imágenes cronológicas y se contrastarán con la evolución del resto.

Las cuadrículas de estudio para las imágenes seleccionadas tienen unas dimensiones de 6.45 km². En las cuadrículas se presentará el resultado de las diferentes series temporales de fotografía, seguido de la adición de las capas SIGPAC (con transparencia del 70% y CLC 2018 (con transparencia del 35%) para una mejor visualización.

4.4.1. Cuadrícula 1: Zona de llanura (regadío)

La primera cuadrícula se situará en una zona de regadío, cercana a las localidades de Torralba de Aragón y de Valfonda de Santa Ana (pertenecen al municipio de Torres de Barbués).

Se encuentra ubicada dentro de los términos municipales de Almuniente; Torralba de Aragón y Torres de Barbués, perteneciendo a la comunidad de regantes de Santa Ana. Se trata de un espacio de marcado carácter irrigado, entre el Canal de Los Monegros y el río Flumen. Forma parte de uno de los espacios adyacentes a la construcción de Valfonda por parte del Instituto Nacional de Colonización, en fase con los planes y directrices del mismo.

4.4.1.1. Vuelo americano 1956-1957

Podemos apreciar cambios muy importantes en el parcelario con respecto a la realidad de hoy en día. Encontramos un parcelario muy dividido, formando pequeños campos que han de salvar la irregularidad del terreno y favoreciendo el abancalamiento. Cerca de las localidades, sobretodo de Torralba de Aragón, vemos que el regadío está bastante implantado.

En esta fase, los pueblos de colonización ya están siendo creados y los procesos de concentración y división parcelaria en lotes están poniéndose en marcha, pero todavía no han sido completados en todos los casos.

No se aprecian masas forestales significativas, siendo un paisaje agrario (casi exclusivamente), con la excepción del bosque de repoblación antrópica ubicado en las inmediaciones de la localidad de Valfonda. No podemos saber cuál es la tipología del cultivo, ya que no tenemos datos sobre ellos. Podemos apreciar que las “corrientes y aguas superficiales” que aparecen reflejadas en los usos del suelo del CLC 2018 mantienen la misma distribución.

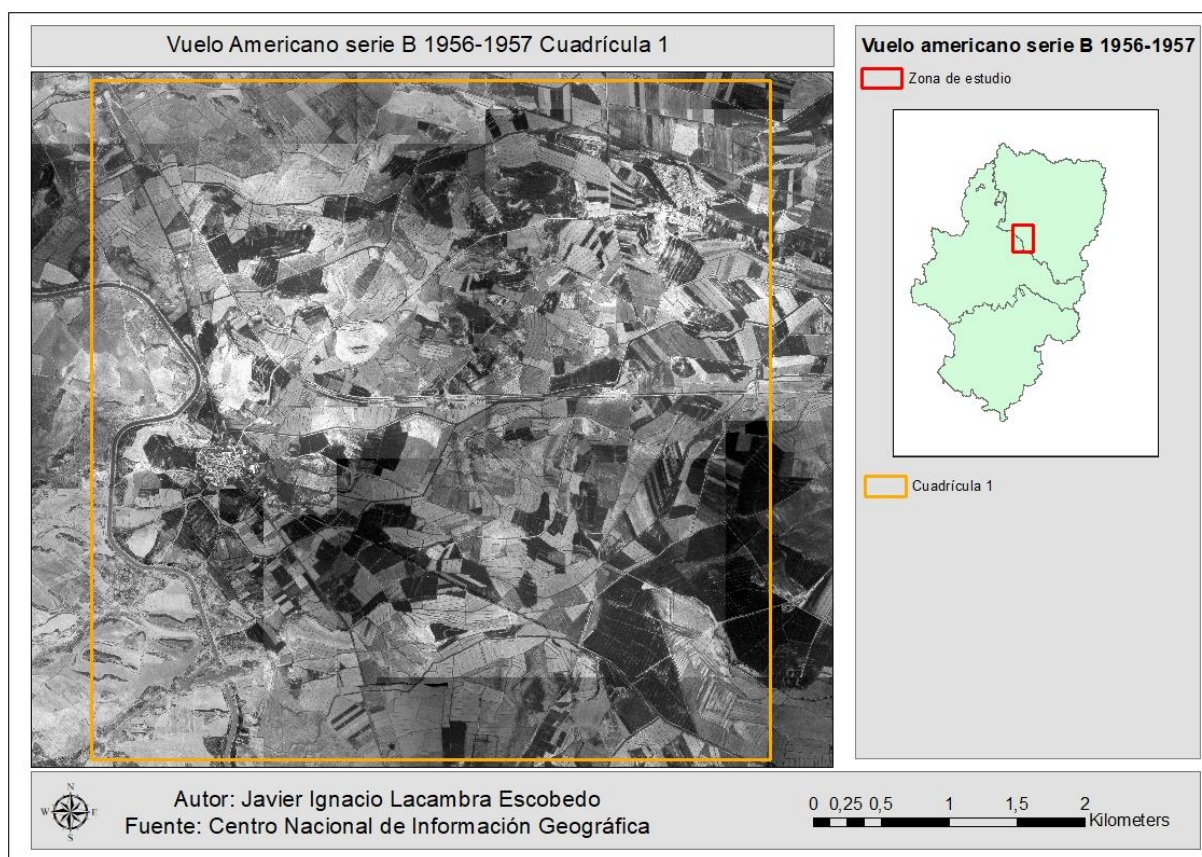


Figura 26: Cuadrícula 1 del vuelo americano serie B 1956-1957. Fuente: CNIG.

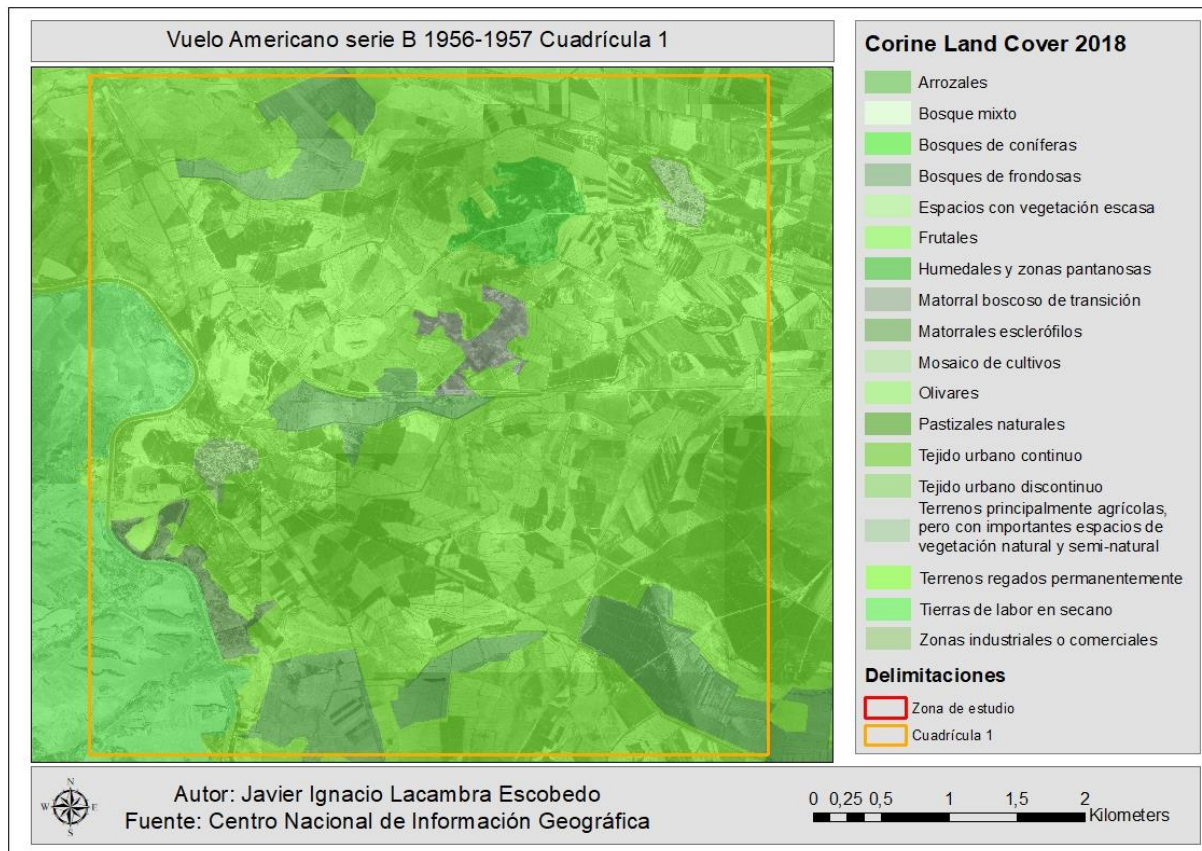


Figura 27: Cuadrícula 1 del vuelo americano con CLC 2018. Fuente: CNIG.

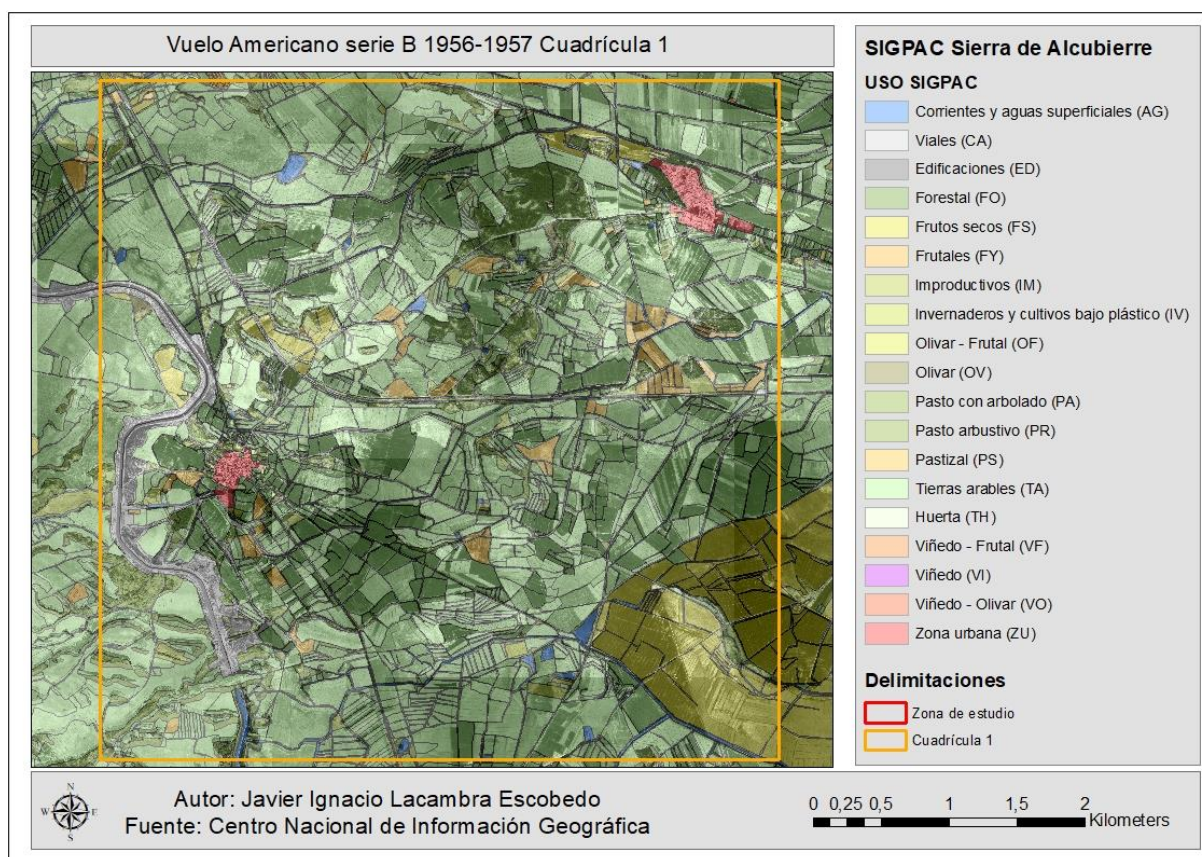


Figura 28: Cuadrícula 1 del vuelo americano con SIGPAC. Fuente: CNIG.

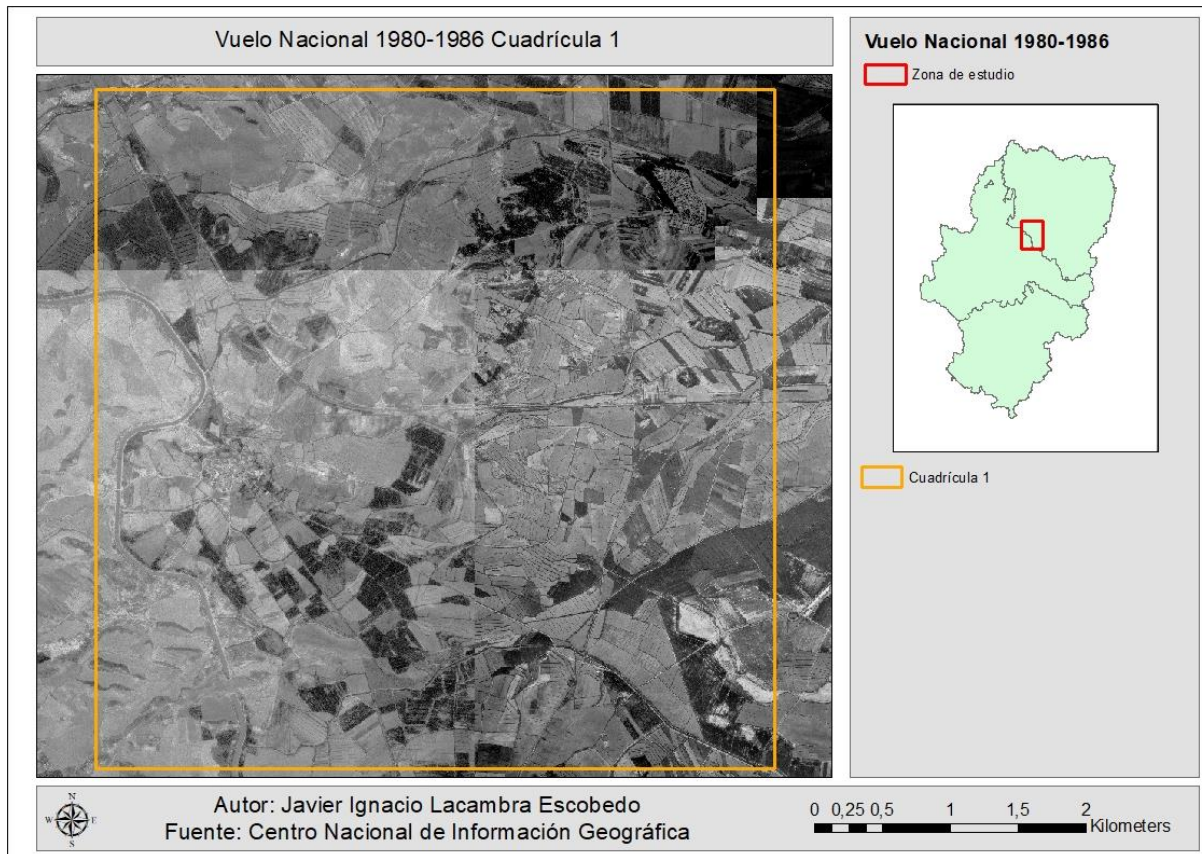


Figura 29: Cuadrícula 1 del vuelo nacional 1980-1986. Fuente: CNIG.

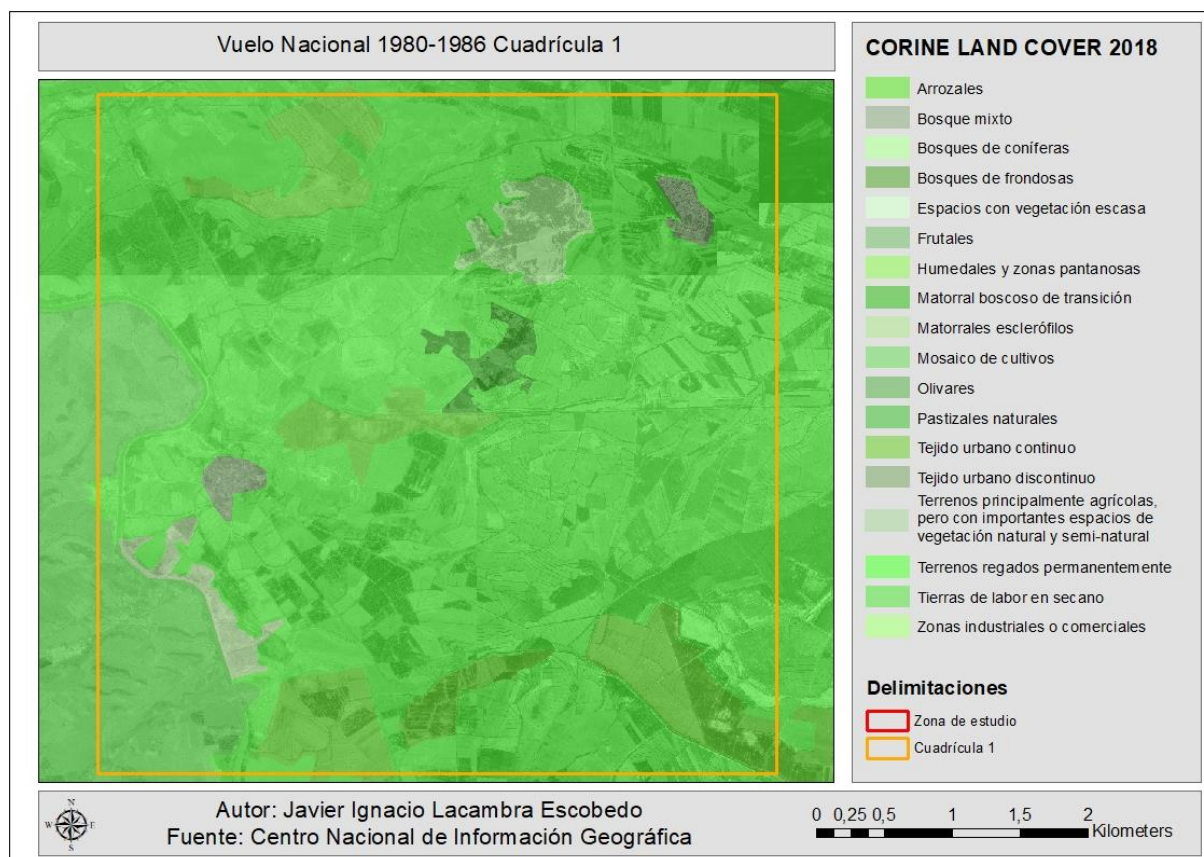


Figura 30: Cuadrícula 1 del vuelo nacional con CLC 2018. Fuente: CNIG.

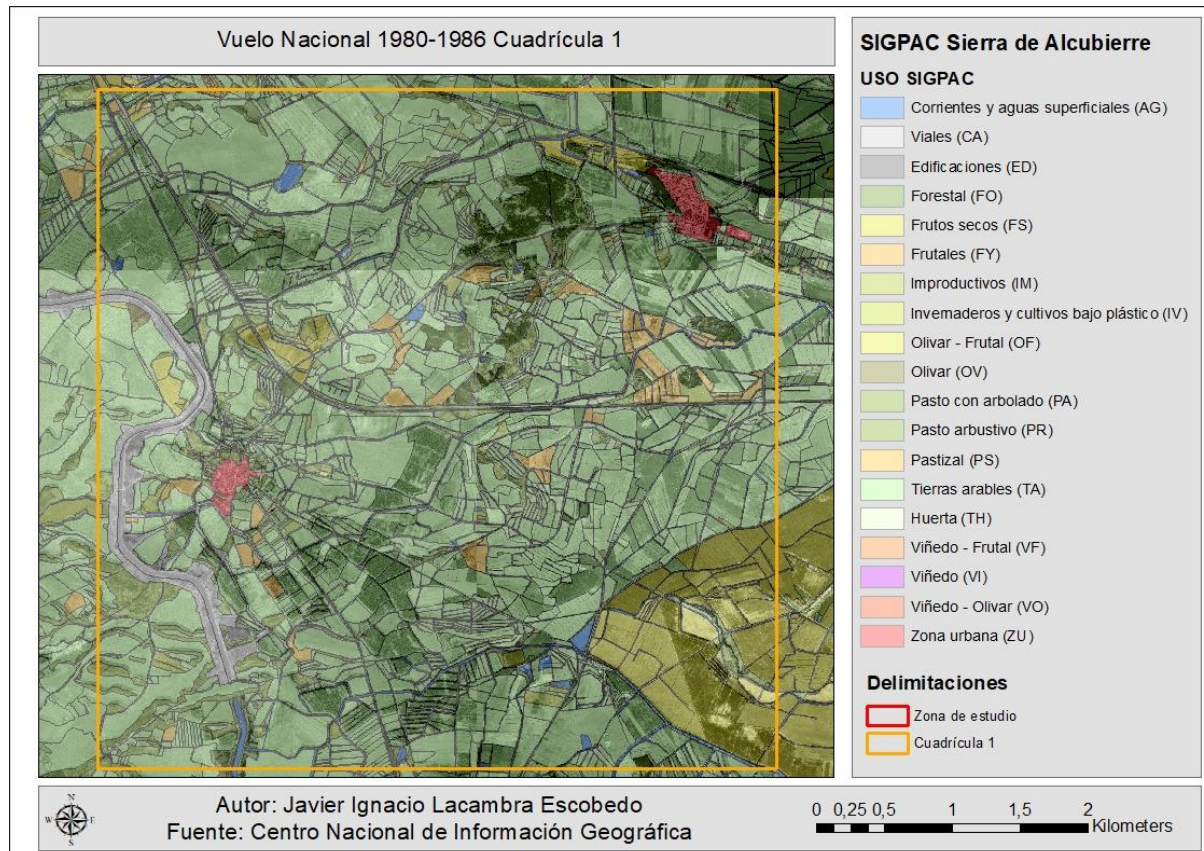


Figura 31: Cuadrícula 1 del vuelo nacional con SIGPAC. Fuente: CNIG.

4.4.1.2. Vuelo nacional 1980-1986

Con respecto a la serie temporal anterior, se aprecia que el momento de la toma es diferente (menor escala de tonos oscuros, que nos indican la existencia de cultivos y vegetación vigorosa). Sí se aprecian ciertos cambios en cuanto a la estructuración del parcelario, siendo los campos de cultivo de una mayor superficie y entidad, posibilitados por la mecanización agrícola y la creación de sistemas de regadío más capaces y eficientes que las primitivas acequias de tierra, así como la creación de lotes y adquisición de tierras por parte de propietarios. La evolución no es muy importante, manteniendo una tendencia parecida a la serie anterior.

4.4.1.3. Plan Nacional de Ortofotografía Aérea 2018

Es en esta serie temporal donde mayores procesos de cambio vamos a poder observar. Los procesos de mecanización agrícola; concentración parcelaria; introducción de nuevos sistemas de producción; nuevas infraestructuras de riego, etc. van a ser los grandes responsables, ya sea de forma directa o indirecta. Hay que tener en cuenta que todos estos procesos interactúan entre sí, habiendo sido desarrollados parcialmente o en su totalidad.

En esta etapa también va a tener un importante impacto el descenso acusado de la población (éxodo rural finalizado años atrás) y, por tanto, el impacto de la misma sobre el medio (reducción de actividad). El aprovechamiento de la tierra no es el único medio de producción y manutención de la población ubicada en estos espacios, lo cual afecta directamente a la configuración del paisaje que percibimos.

También, hay que destacar la interacción humana a través de los diferentes planes puestos en marcha que afectan al medio, bien sea en pos de su aprovechamiento y explotación o bien en favor de su conservación y preservación.

En este caso, obtenemos una imagen mucho más aproximada a la que nos ofrecen las capas del CLC 2018 y SIGPAC (datos actuales) que vamos a ir superponiendo a lo largo de las diferentes series temporales y cuadrículas de nuestro estudio. El mosaico de parcelario reducido y abundante existente en el pasado da paso a grandes superficies de cultivo, con un más que importante porcentaje de tierras en regadío (visible en el CLC 2018) con implantación de sistemas modernos de riego. La creciente adquisición de tierras y la puesta en marcha de proyectos de concentración parcelaria son responsables directos de estos cambios, ya que es más atractivo concentrar una superficie amplia para facilitar los trabajos agrícolas relativos a la explotación (siembra; aplicación de fitosanitarios; cosechas...).

Las entidades de población mantienen su tamaño, no existiendo progresión superficial reseñable.

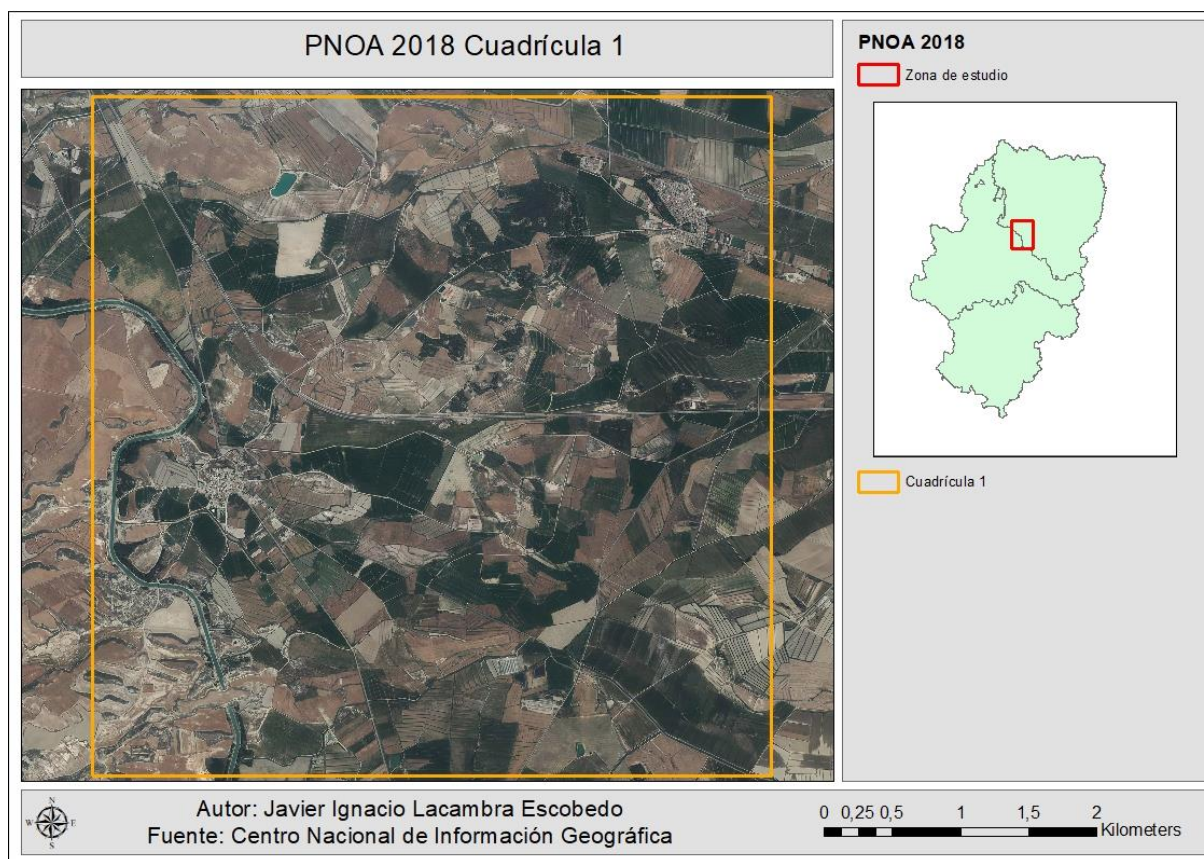


Figura 32: Cuadrícula 1 del PNOA 2018. Fuente: CNIG.

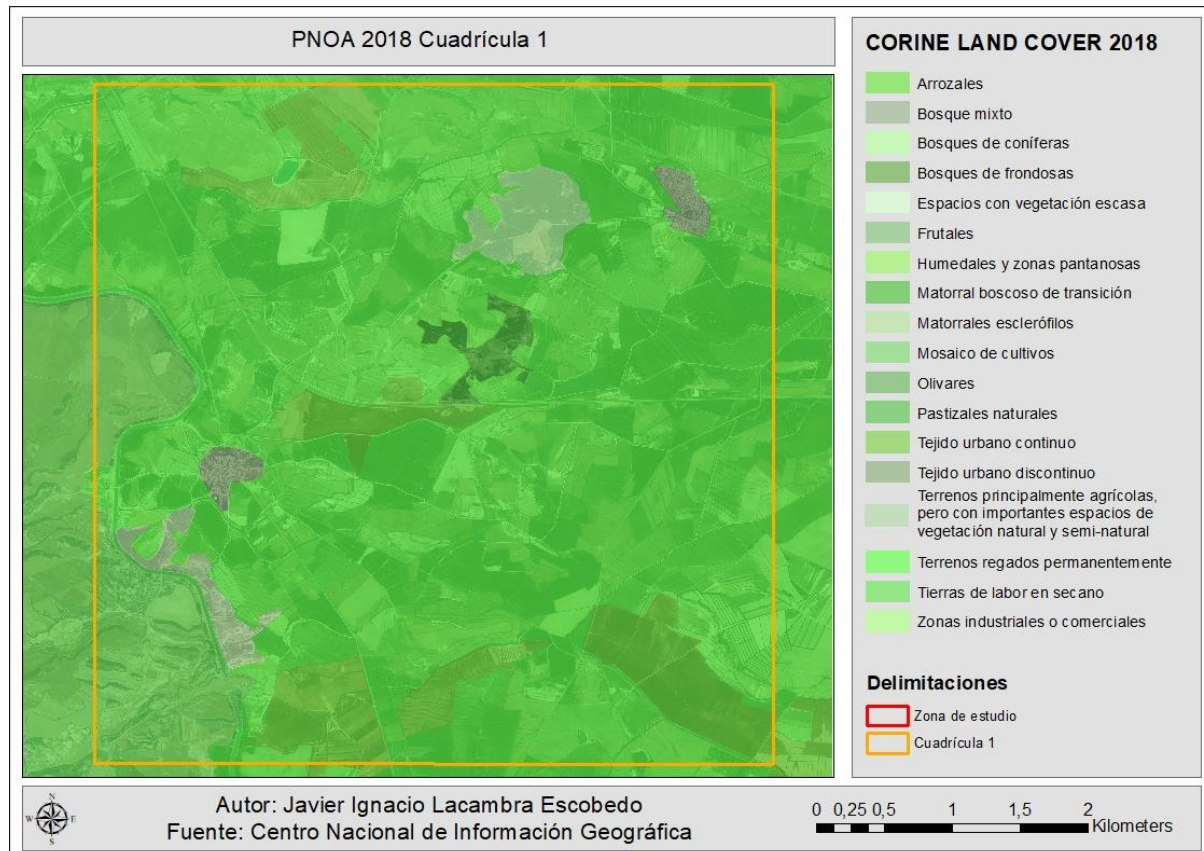


Figura 33: Cuadrícula 1 del PNOA 2018 con CLC 2018. Fuente: CNIG.

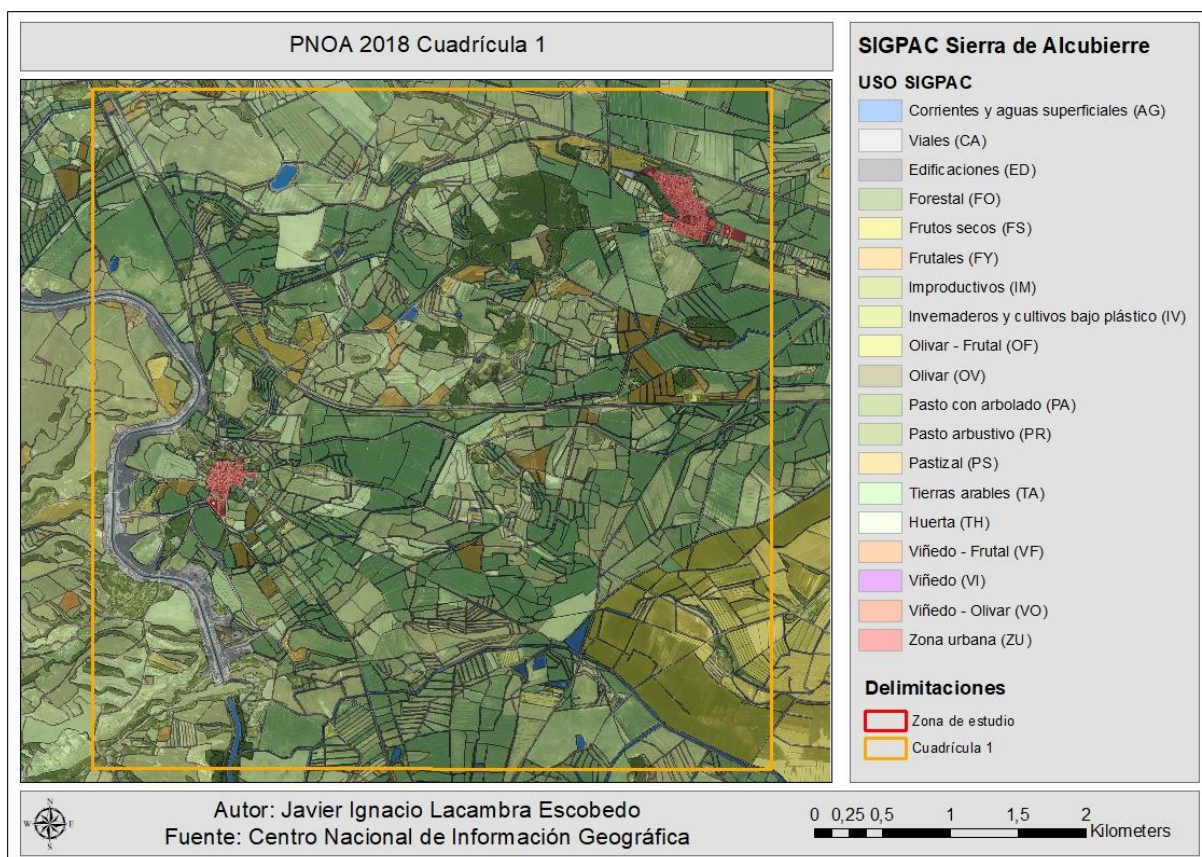


Figura 34: Cuadrícula 1 del PNOA 2018 con SIGPAC. Fuente: CNIG.

4.4.1.4. Imágenes de teledetección

A través de la composición de colores, se observan las diferentes variaciones para el año inicial de la serie (1985) y el final (2019).

Para la composición 4/3/2 (1985 – Landsat 5-) y 5/4/3 (2019 – Landsat 8-), podemos identificar las variaciones en la vegetación, fundamentalmente, además del suelo y el agua (en este caso, el Canal de Los Monegros). En este caso, algunas de las tonalidades rojizas son mucho más intensas en la imagen de 1985 (imagen de la izquierda), pero se trata de espacios muy concretos. Probablemente, debido a las fechas de cada imagen (06/07/1985 y 04/07/2019), las parcelas con mayor intensidad de rojo se corresponden con cultivos tales como alfalfa y maíz, los cuales tienen un período fenológico distinto al resto de cultivos habituales en la zona (cebada; trigo...), y puede ser que hayan recibido aportes recientes de agua (irrigación). El resto de zonas, puede ser que correspondan a parcelas que no han sido cosechadas o a cultivos como los mencionados anteriormente. Las zonas de color rosáceo representan a espacios con menor densidad o menor grado de desarrollo, aunque podrían corresponder a parcelas que han sido cosechadas recientemente para Landsat 8, siendo de color verdoso para Landsat 5.

Para finalizar, en tonalidades de azul o blanco, podemos encontrar suelo desnudo o espacios que no han sido cultivados en ese año.

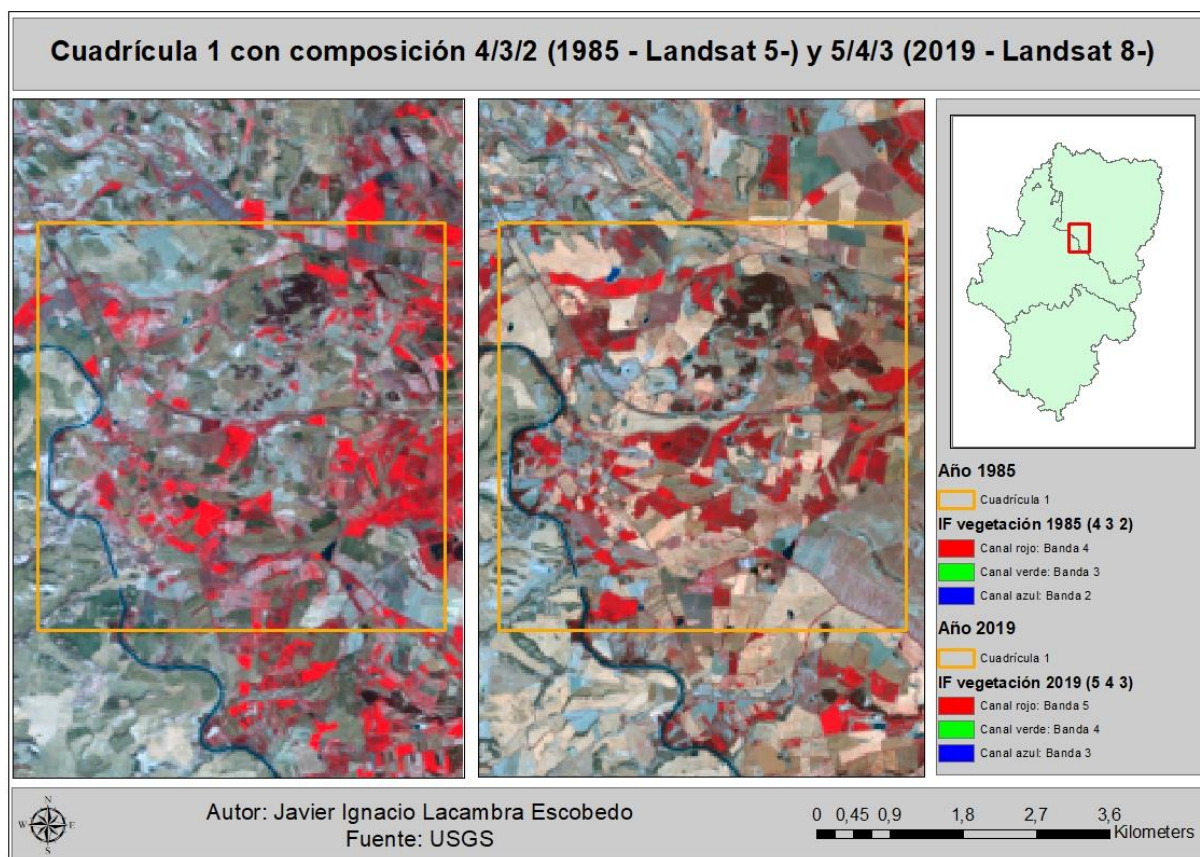


Figura 35: Cuadrícula 1 de Teledetección 1985 y 2019 con 4/3/2 y 5/4/3. Fuente: USGS.

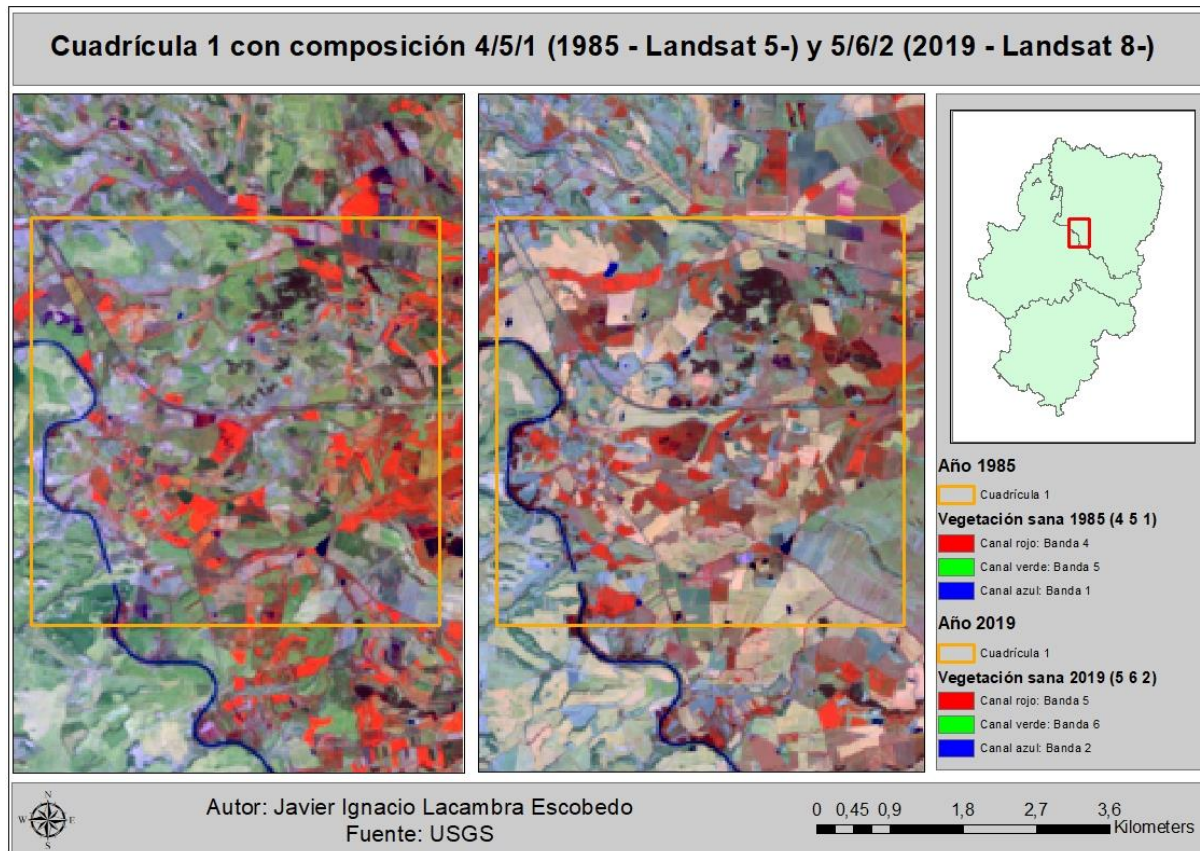


Figura 36: Cuadrícula 1 de Teledetección 1985 y 2019 con 4/5/1 y 5/6/2. Fuente: USGS.

Para la composición 4/5/1 (Landsat 5) y 5/6/2 (Landsat 8), detectamos la salud de la vegetación, siendo sana aquella que presenta colores rojos (mayor intensidad, mayor salud). Aquellos que son más apagados y que se aproximan a naranjas, amarillos o verdes nos indican menor salud y menor contenido de humedad de forma gradual (mayor presencia en la composición de 2019). Los suelos quedan representados por el color verde y el marrón, siendo mucho más mayoritarios en la composición del año 1985 (parcelas sin cultivar, generalmente), ya que en la del 2019, se reducen a una pequeña proporción.

No es la composición que más nos sirva en este caso, ya que apenas se distingue de la anterior. En este caso, lo que podemos apreciar un poco mejor es el contenido de humedad en el suelo, aunque no es muy significativo.

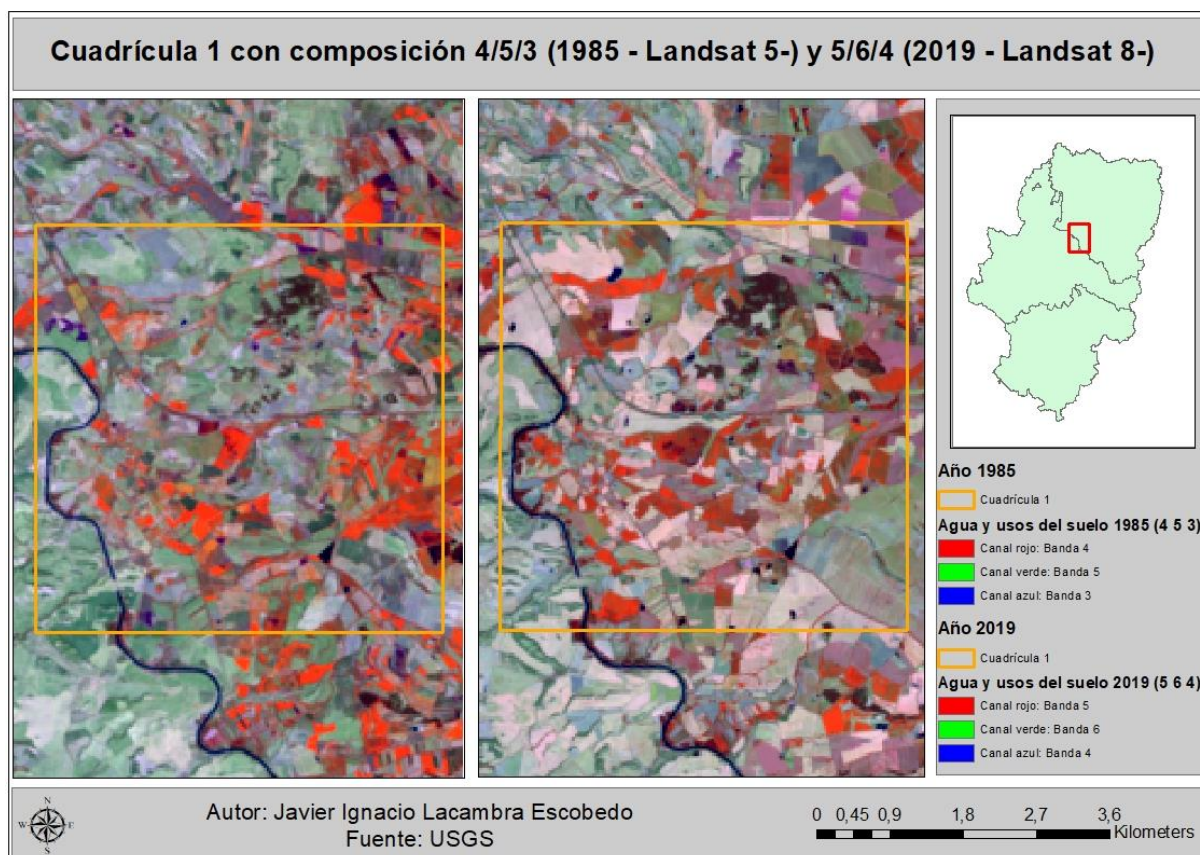


Figura 37: Cuadrícula 1 de Teledetección 1985 y 2019 con 4/5/3 y 5/6/4. Fuente: USGS.

La composición 5/4/1 (Landsat 5) y 6/5/2 (Landsat 8) nos permite identificar de la mejor manera posible los usos agrícolas. En este caso, las parcelas con uso agrícola presentan una escala cromática de tonalidades verdes, teniendo tonalidades diferentes en ambas composiciones, pero reflejando una suma muy parecida. Sin embargo, en la composición de Landsat 8 podemos identificar de mejor manera cuales están siendo aprovechadas (verde más intenso) y cuales no (verde claro) con respecto a la de 1989, que ofrece menor información en este sentido.

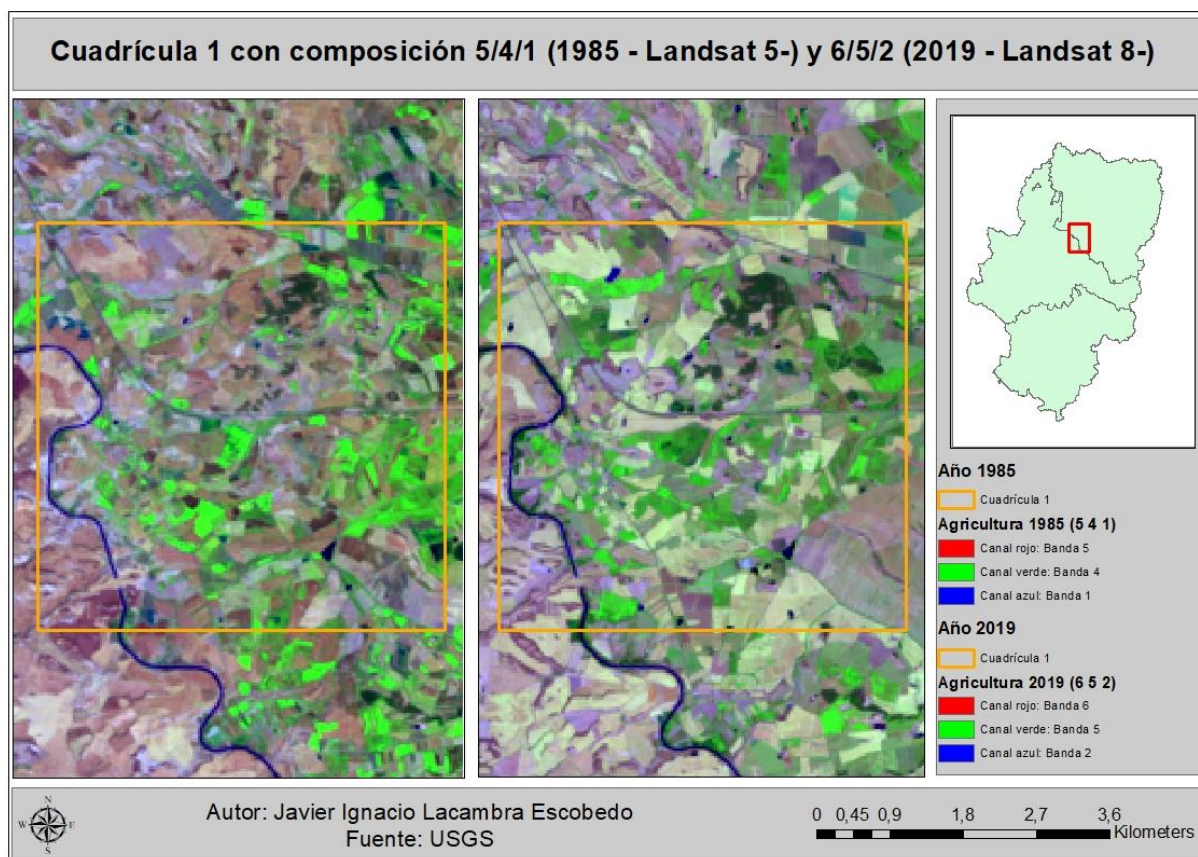


Figura 38: Cuadrícula 1 de Teledetección 1985 y 2019 con 5/4/1 y 6/5/2. Fuente: USGS.

4.4.2. Cuadrícula 2: Zona de Sierra

Para la segunda cuadrícula se ha decidido escoger una ubicación aleatoria en la Sierra de Alcubierre. En este caso, se trata de un espacio en el que la cuadrícula se encuentra dentro del término municipal de Torralba de Aragón, con la excepción de una reducida superficie que forma parte del Municipio de Tardienta y de otra que forma parte del de Leciñena. En este caso nos encontramos con una zona agrícola y otra forestal, con vegetación natural y espacios abiertos, además de un pequeño espacio de bosque de coníferas. Se trata de una zona agrícola de secano (mayoritariamente), aunque también existen parcelas agrícolas con vegetación natural y semi-natural.

4.4.2.1. Vuelo americano 1956-1957

En las imágenes del vuelo podemos apreciar que la superficie destinada al aprovechamiento agrícola es realmente importante, observando además una fragmentación notable del parcelario, así como la dificultad del terreno, expresada gráficamente en el abundante número de parcelas con abancalamientos. En aquellas zonas donde el aprovechamiento agrícola no era viable, observamos una fuerte densidad de población vegetal, identificando principalmente espacios de vegetación arbustiva y/o herbácea.

Si realizamos la comparación con la fotografía actual, comprobamos que muchas de las parcelas han sido abandonadas, favoreciendo la aparición de matorrales esclerófilos, los cuales se han ido expandiendo desde las zonas anexas (en las que existía vegetación arbustiva y/o herbácea) hasta lograr colonizar por completo las mismas. Este hecho se explica por la dificultad del terreno y la imposibilidad de vencer este aspecto con la maquinaria agrícola actual, ya que se trata de parcelario que era trabajado de forma manual (siembra y cosecha manual) o mediante animales de tiro (siendo prácticas en desuso por ser de escasa rentabilidad) por la disposición orográfica del mismo, provocando el consecuente abandono. Apenas se pueden intuir las formas debido al avance del proceso, habiendo pasado a ser las zonas de vegetación natural, mayoritarias frente a la realidad fotografiada en el vuelo.

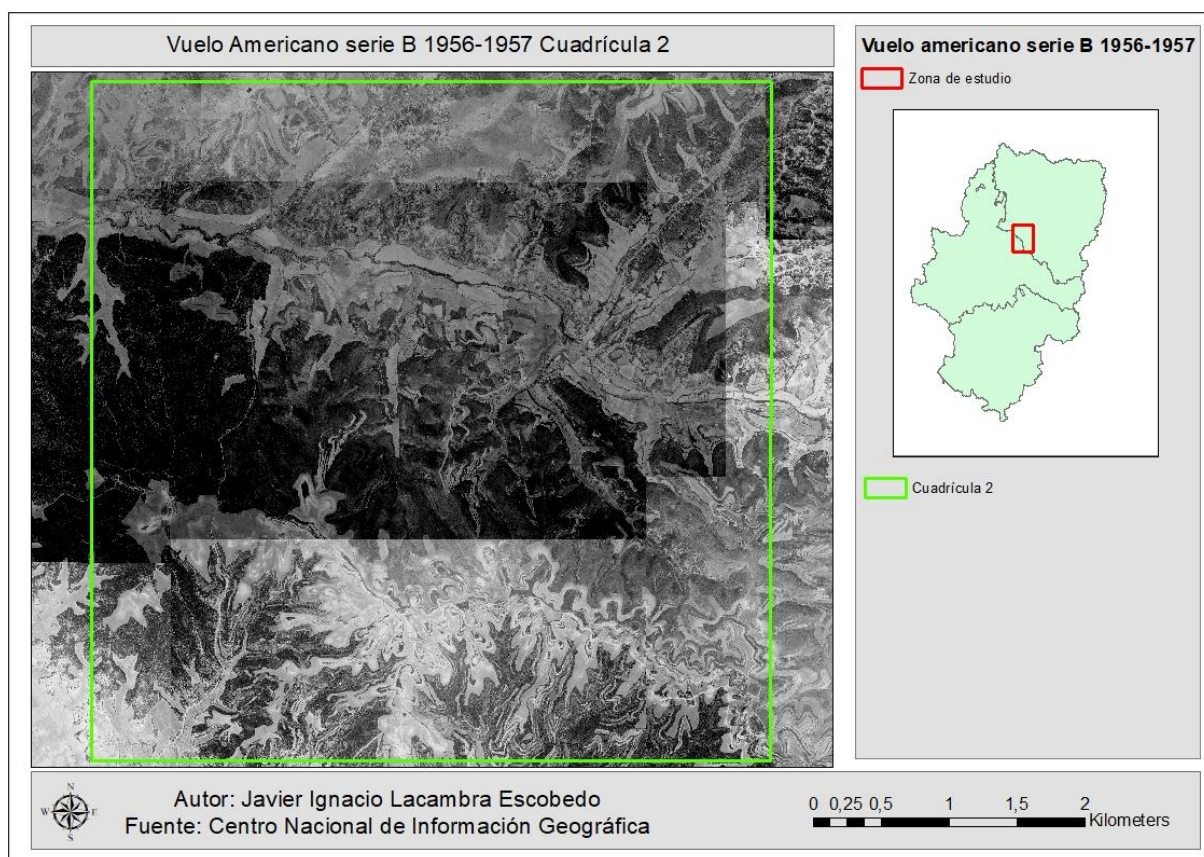


Figura 39: Cuadrícula 2 del vuelo americano serie B 1956-1957. Fuente: CNIG.

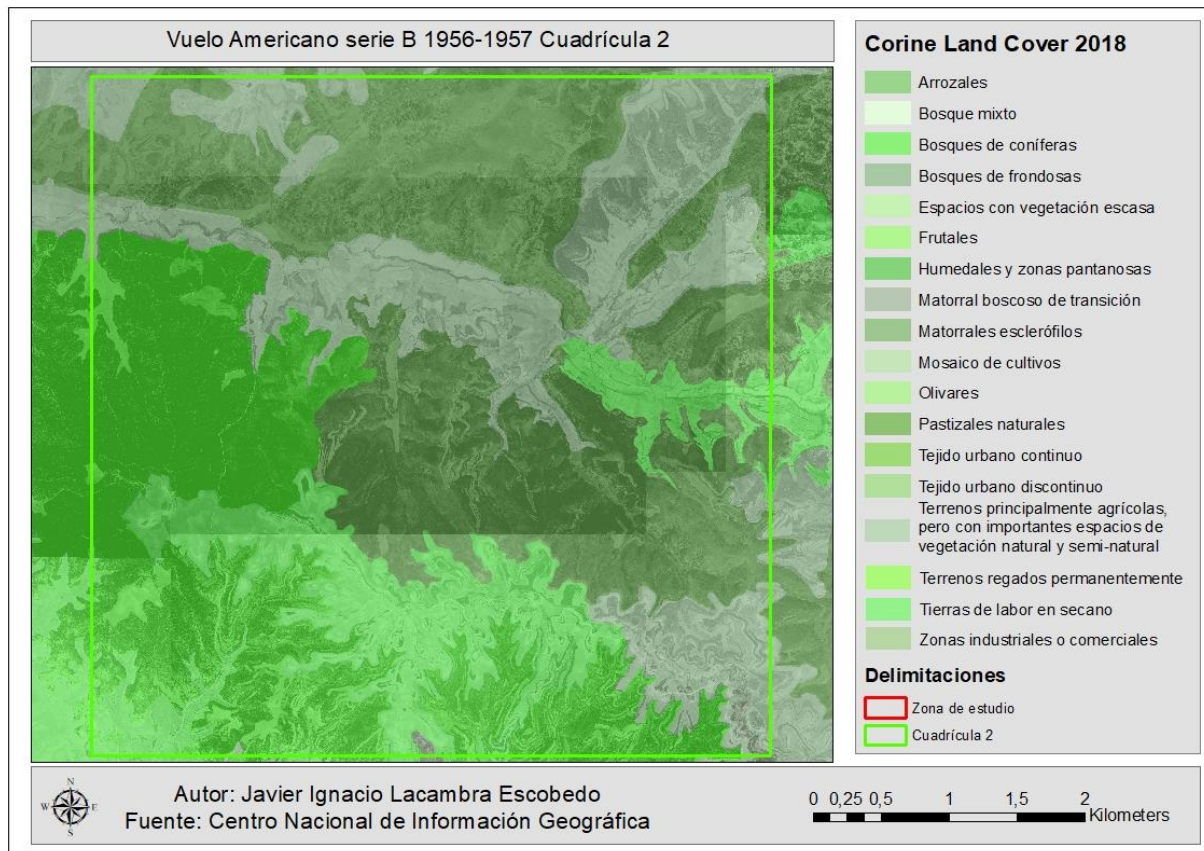


Figura 40: Cuadrícula 2 del vuelo americano con CLC 2018. Fuente: CNIG.

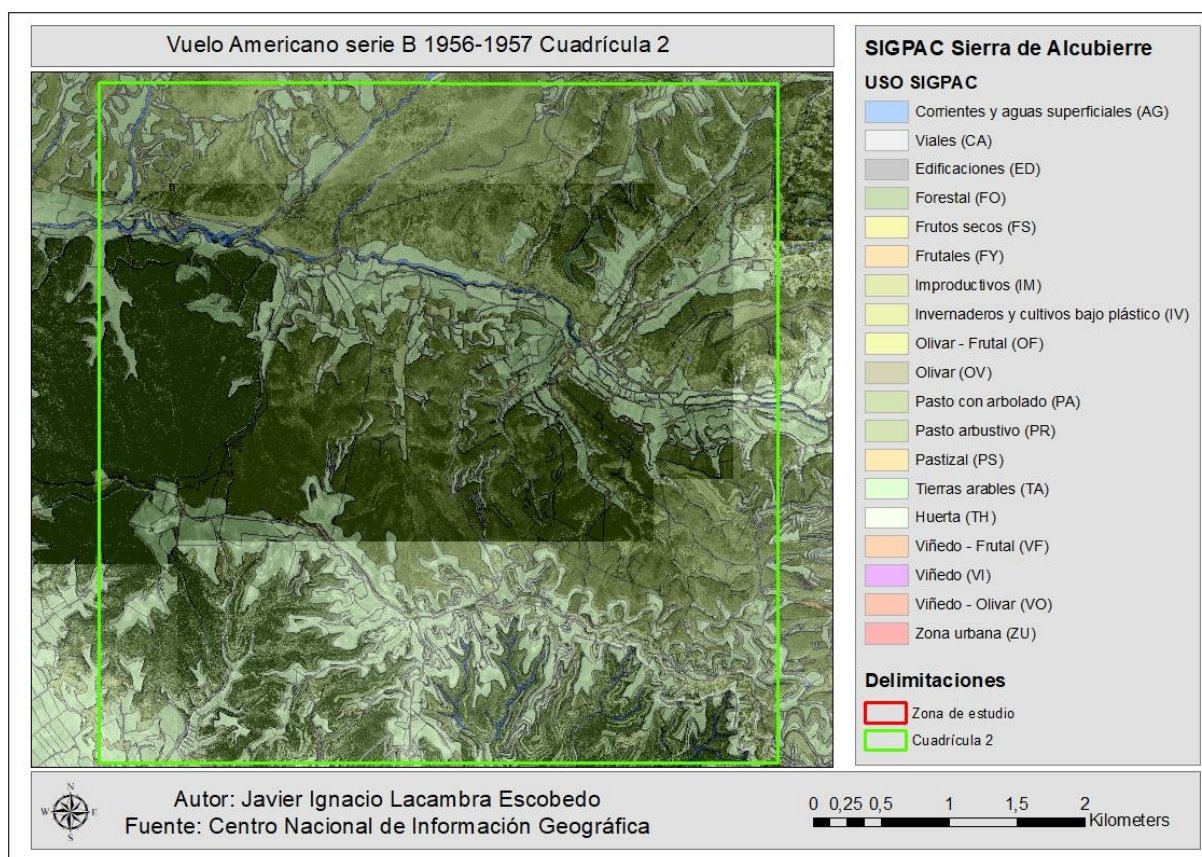


Figura 41: Cuadrícula 2 del vuelo americano con SIGPAC. Fuente: CNIG.

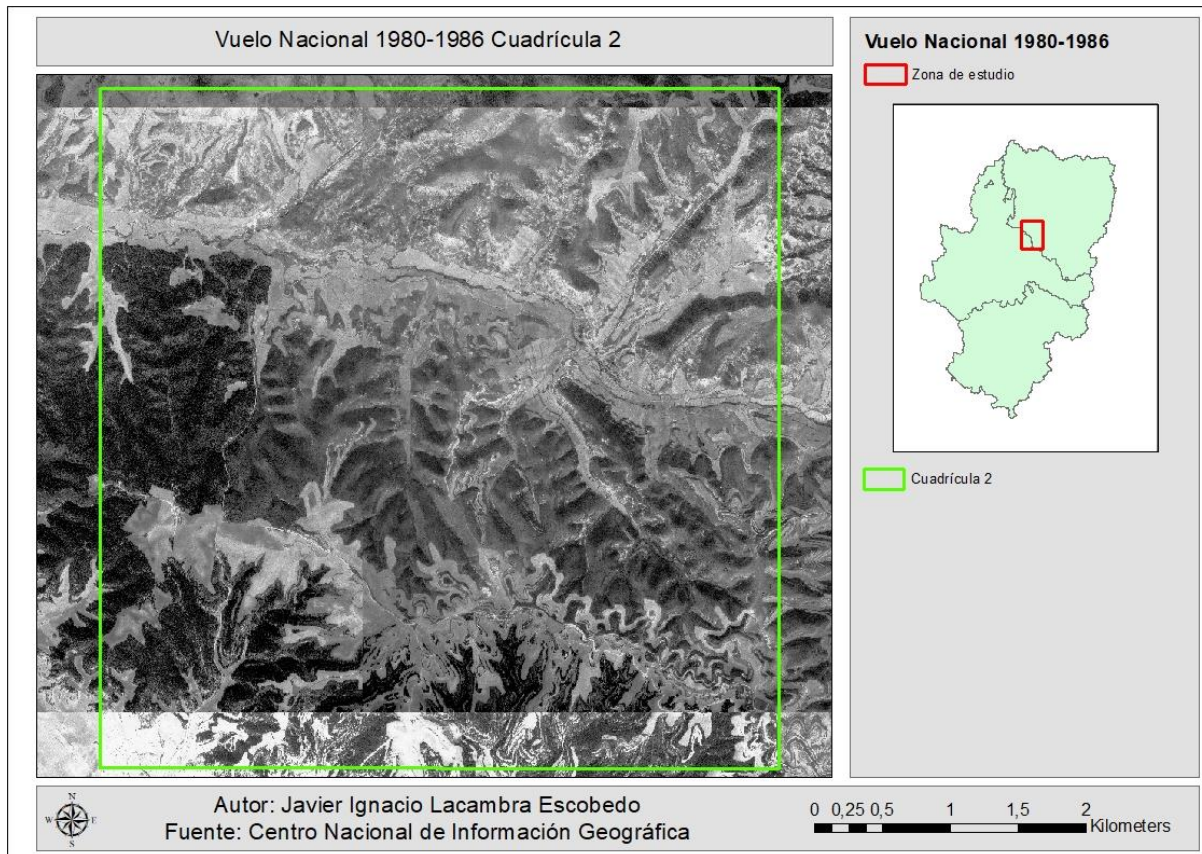


Figura 42: Cuadrícula 2 del vuelo nacional 1980-1986. Fuente: CNIG.

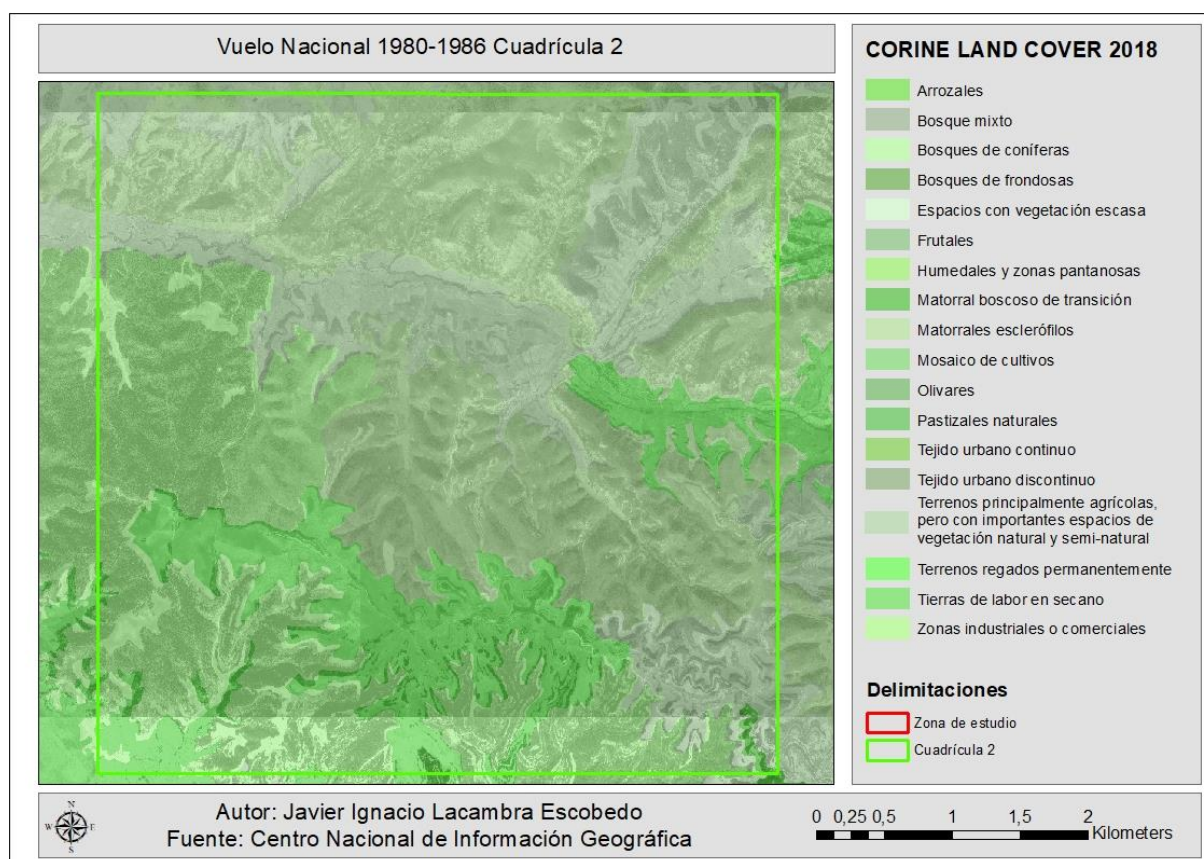


Figura 43: Cuadrícula 2 del vuelo nacional con CLC 2018. Fuente: CNIG.

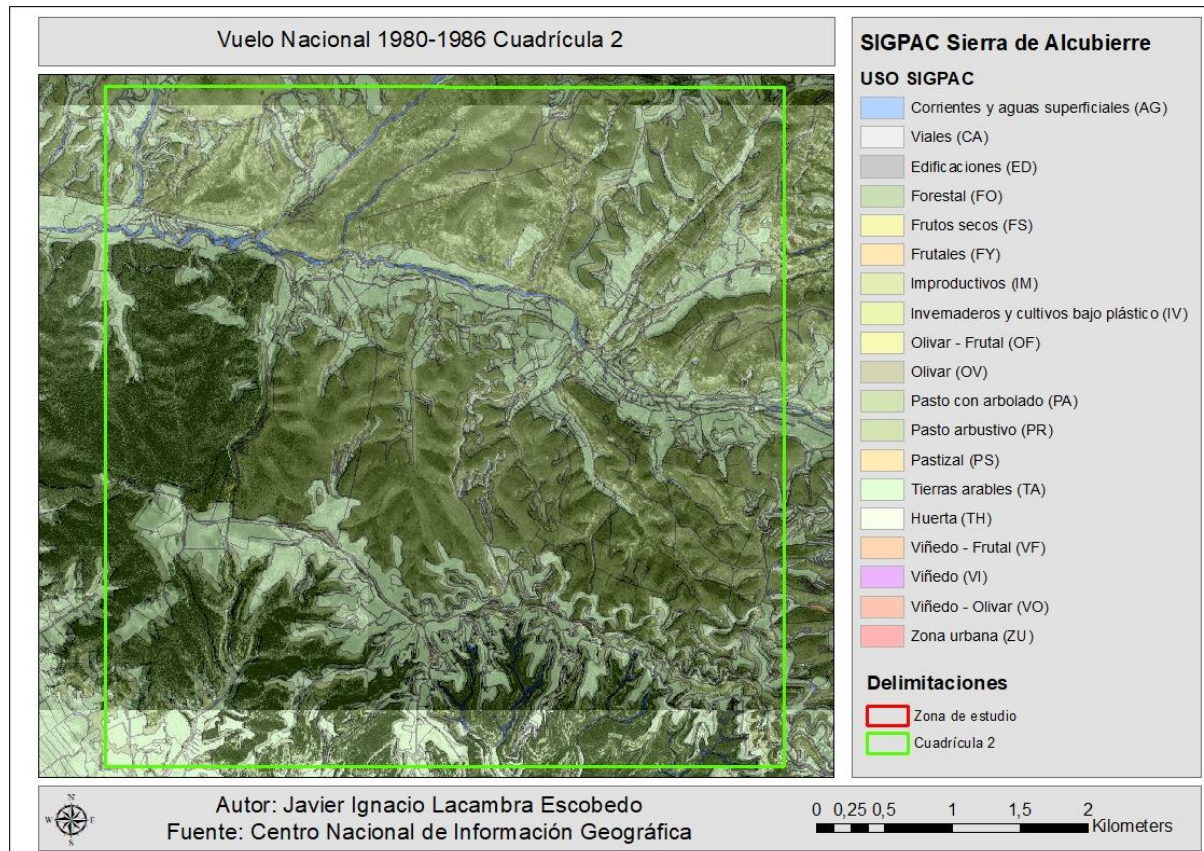


Figura 44: Cuadrícula 2 del vuelo nacional con SIGPAC. Fuente: CNIG.

4.4.2.2. Vuelo nacional 1980-1986

En la segunda serie podemos apreciar que existen cambios, principalmente en cuanto a densidad de la vegetación, la cual aumenta de forma importante. Esta densificación se puede apreciar en el centro de la imagen, donde procesos de colonización natural se han desencadenado dando lugar a una mayor ocupación vegetal de la superficie, probablemente por la propia dinámica vegetacional.

En la parte inferior, la colonización natural se produce debido al abandono de algunas de las parcelas de cultivo existentes en la imagen correspondiente a la serie temporal anterior, posiblemente debido al escaso o nulo interés productivo de las mismas (fuertes pendientes; distancia...) Es posible que el descenso de la actividad ganadera ovina sea otro factor más a tener en cuenta, pero no tenemos registros oficiales acerca de las zonas en las que el pastoreo era más intenso con respecto a otras. El factor más importante es la propia dinámica de la vegetación.

4.4.2.3. Plan Nacional de Ortofotografía Aérea 2018

Vemos que el proceso de colonización vegetal es absoluto. Se percibe muy bien el abandono de los cultivos residuales que podían quedar en las laderas, que sumado a la dinámica vegetacional anteriormente comentada y a otros procesos asociados, da lugar a un manto denso y frondoso que cubre el suelo que anteriormente tenía otra ocupación o que se encontraba desnudo.

El cese de la actividad ganadera ovina es un hecho, manteniéndose de forma muy reducida en la zona.

Destaca la presencia de “matorral esclerófilo” y “bosque de coníferas” en las partes superior, central e inferior de la imagen, combinados con “tierras de labor en secano y espacios principalmente agrícolas, pero con importantes espacios de vegetación natural y semi-natural”. A nivel SIGPAC, la mayor parte de las superficies se encuentran catalogadas como “pasto arbolado”; “forestal” y “tierras arables”.

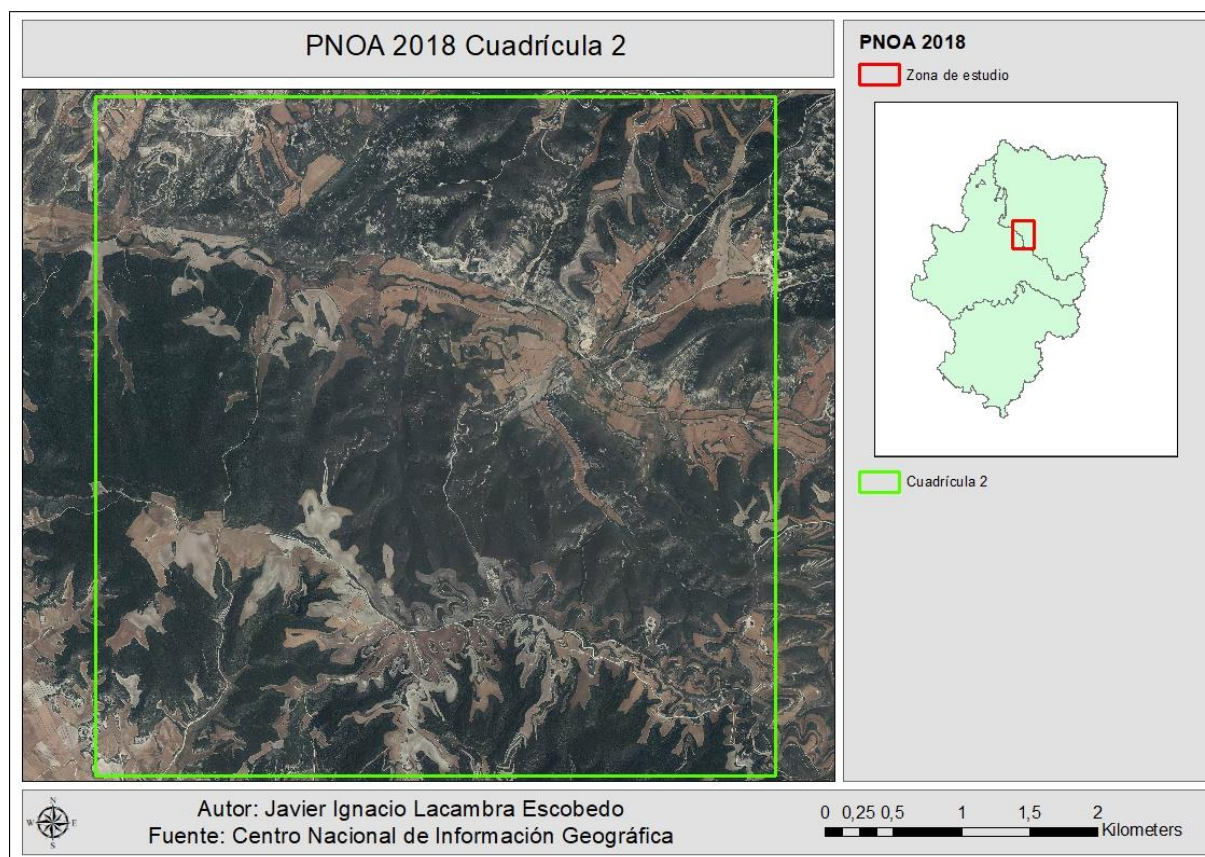


Figura 45: Cuadrícula 2 del PNOA 2018. Fuente: CNIG.

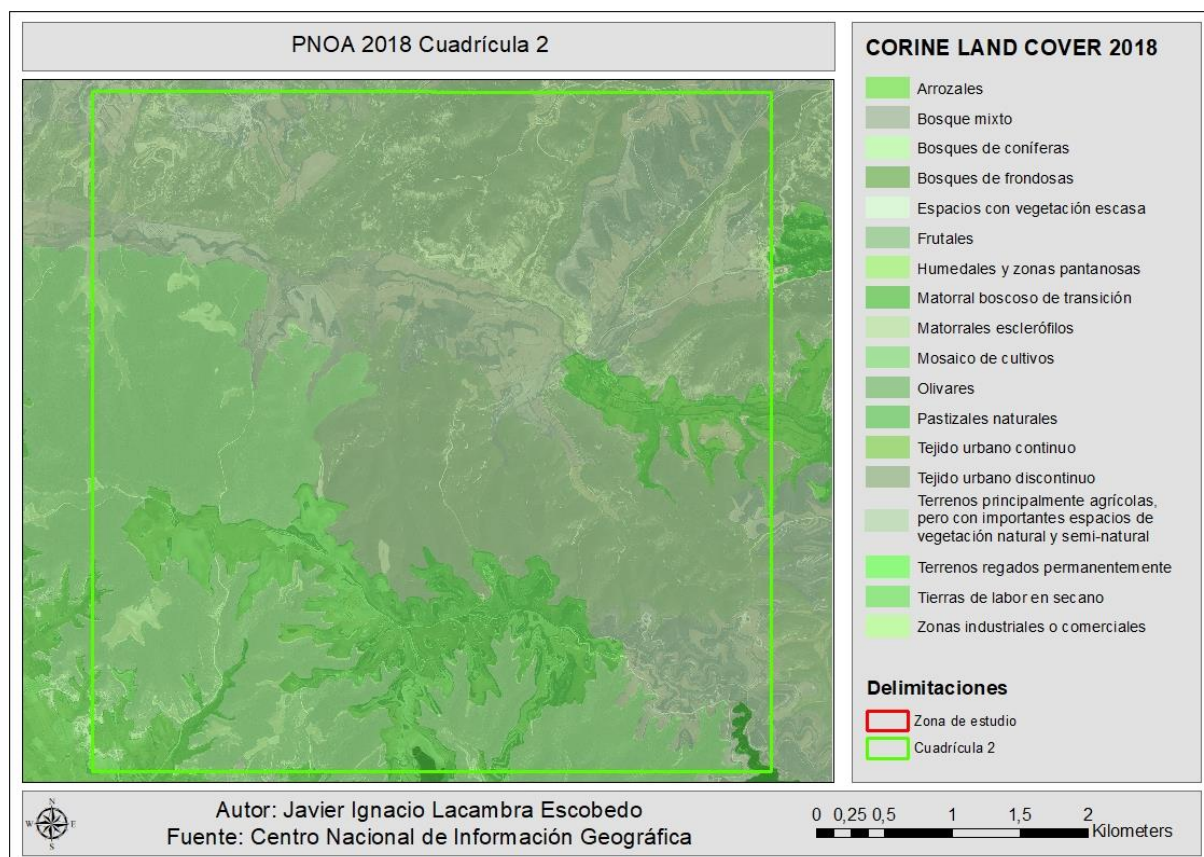


Figura 46: Cuadrícula 2 del PNOA 2018 con CLC 2018. Fuente: CNIG.

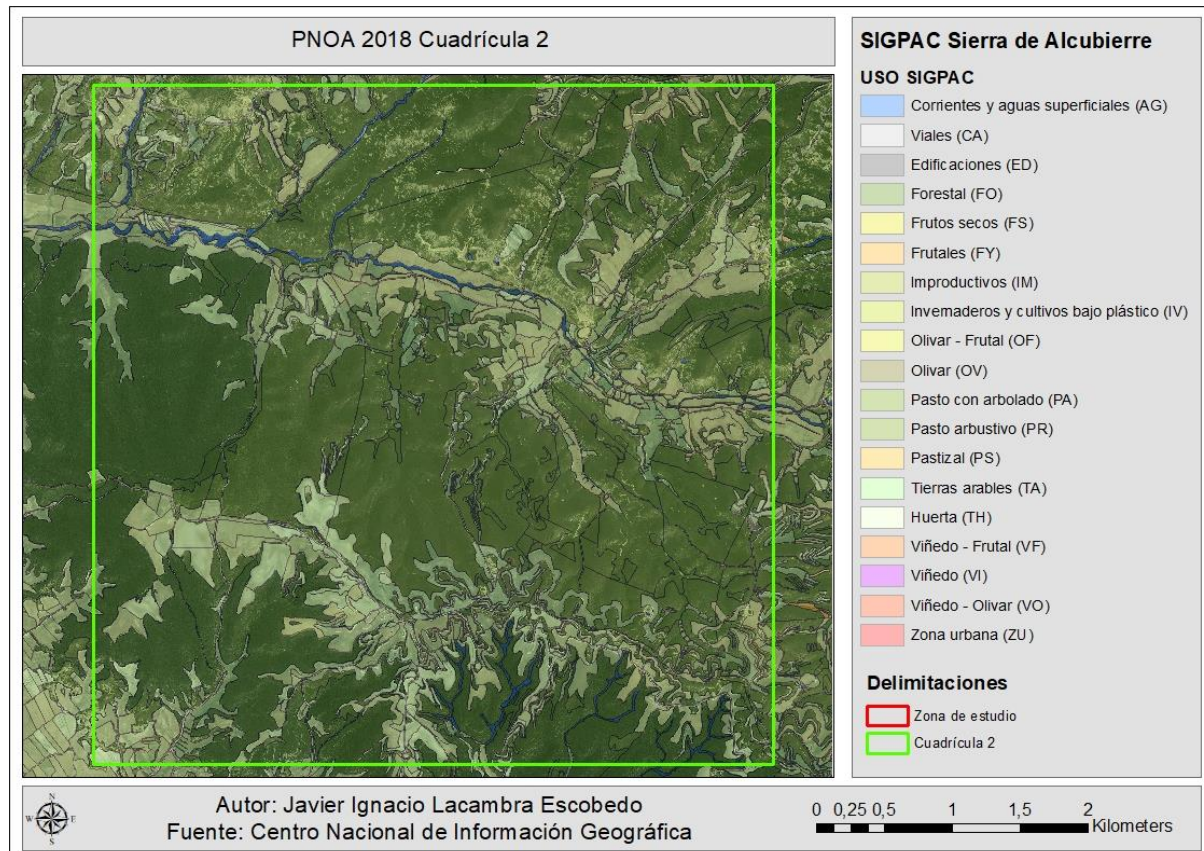


Figura 47: Cuadrícula 2 del PNOA 2018 con SIGPAC. Fuente: CNIG.

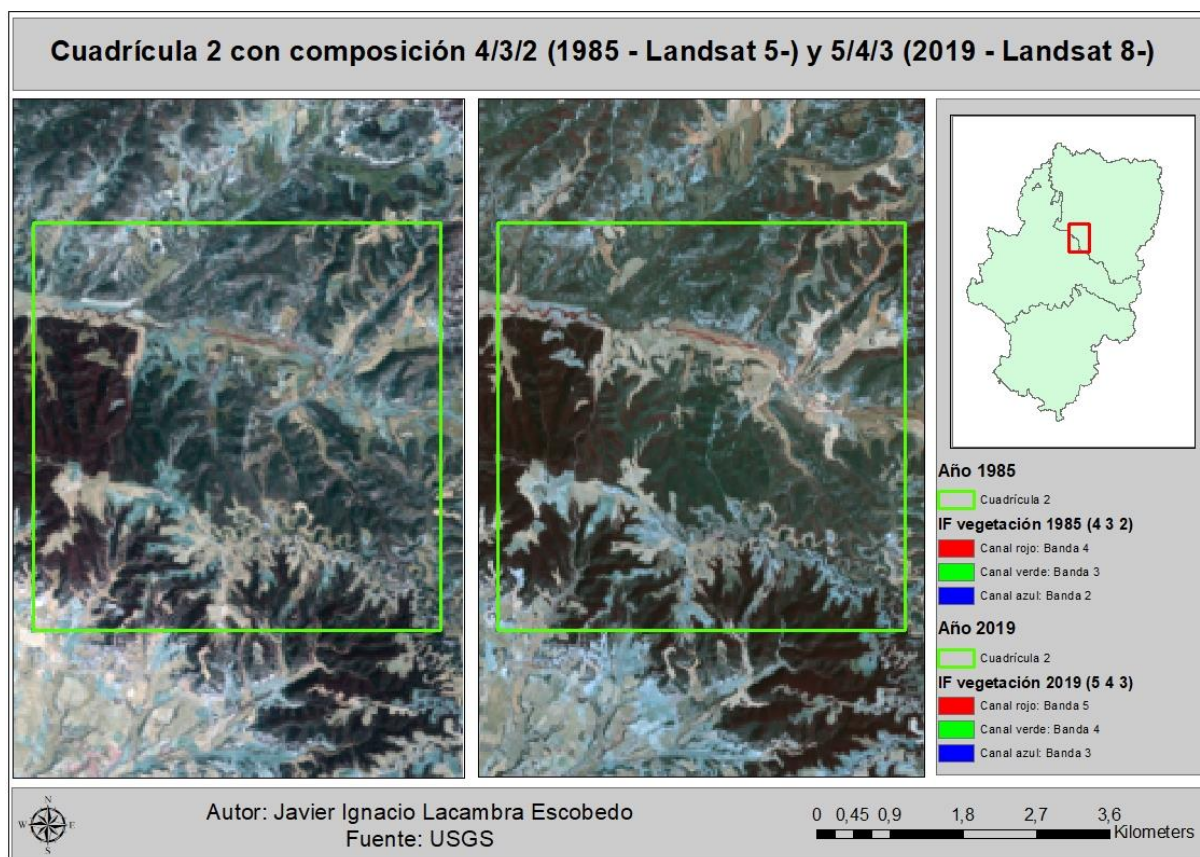


Figura 48: Cuadrícula 2 de Teledetección 1985 y 2019 con 4/3/2 y 5/4/3. Fuente: USGS.

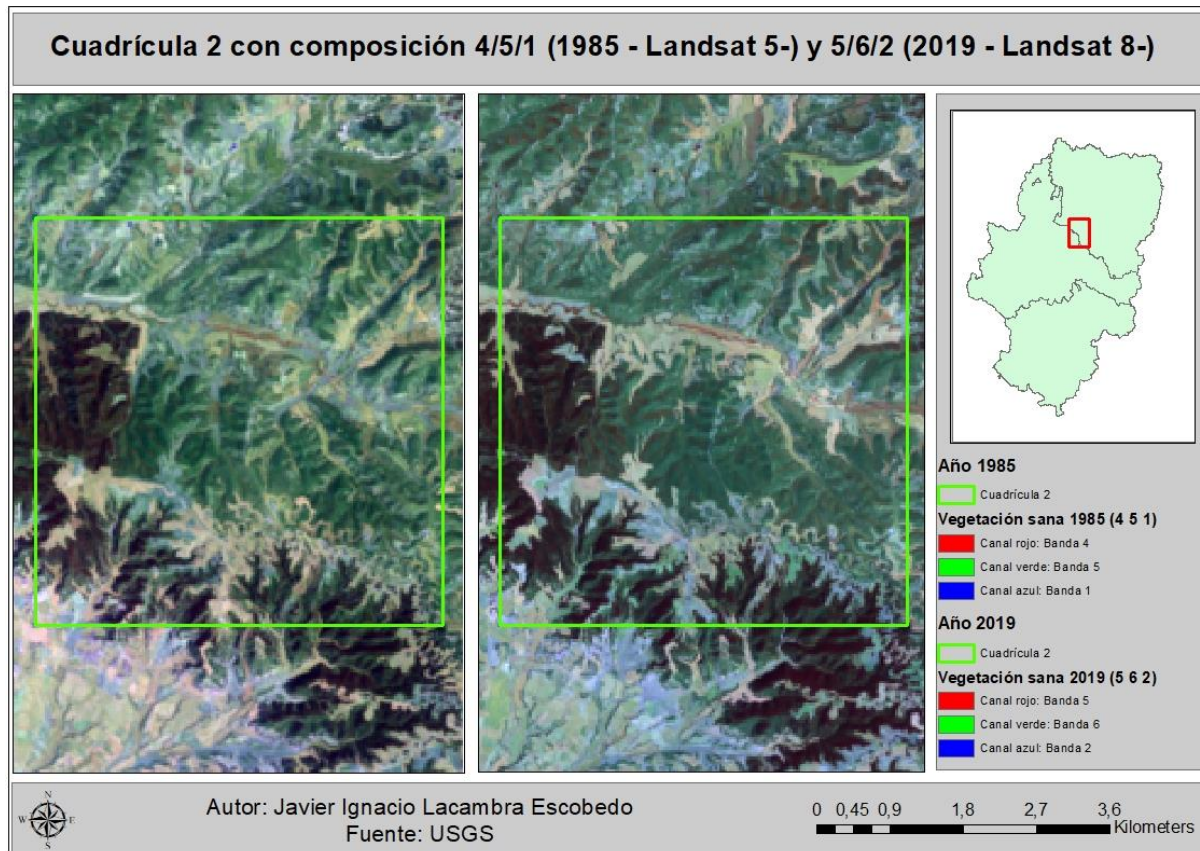


Figura 49: Cuadrícula 2 de Teledetección 1985 y 2019 con 4/5/1 y 5/6/2. Fuente: USGS.

4.4.2.4 Imágenes de teledetección

En la composición 4/3/2 (Landsat 5) y 5/4/6 (Landsat 8), se aprecia un aumento de la densificación de vegetación de forma más que evidente. La composición de colores da resultado a imágenes muy similares, aunque se aprecia un oscurecimiento en la imagen de Landsat 8, indicando ese aumento de concentración de píxeles de color verde brillante y oscuro (vegetación arbustiva y arbórea). En marrón, se aprecian zonas de vegetación arbustiva variable.

La composición 4/5/1 (Landsat 5) y 5/6/2 (Landsat 8) no nos ofrece mucha información relevante. En este caso, los suelos se presentan en tonalidades verdes y marrones, permitiendo diferenciar de mejor manera la vegetación, zonas de transición y suelos. En el caso de la composición de Landsat 8, apreciamos tonalidades azules, que indican procesos recientes de deforestación (generalmente en laderas). Aparecen también, con respecto a la composición anterior, espacios con tonalidades grises, indicativos de presencia de pastizales.

No aporta mucha información con respecto a la composición anterior. En todo caso, sí que se aprecian las diferencias en cuanto al suelo, con tonalidades azules (Landsat 8) con respecto a la otra imagen (Landsat 5), concretamente en la zona inferior.

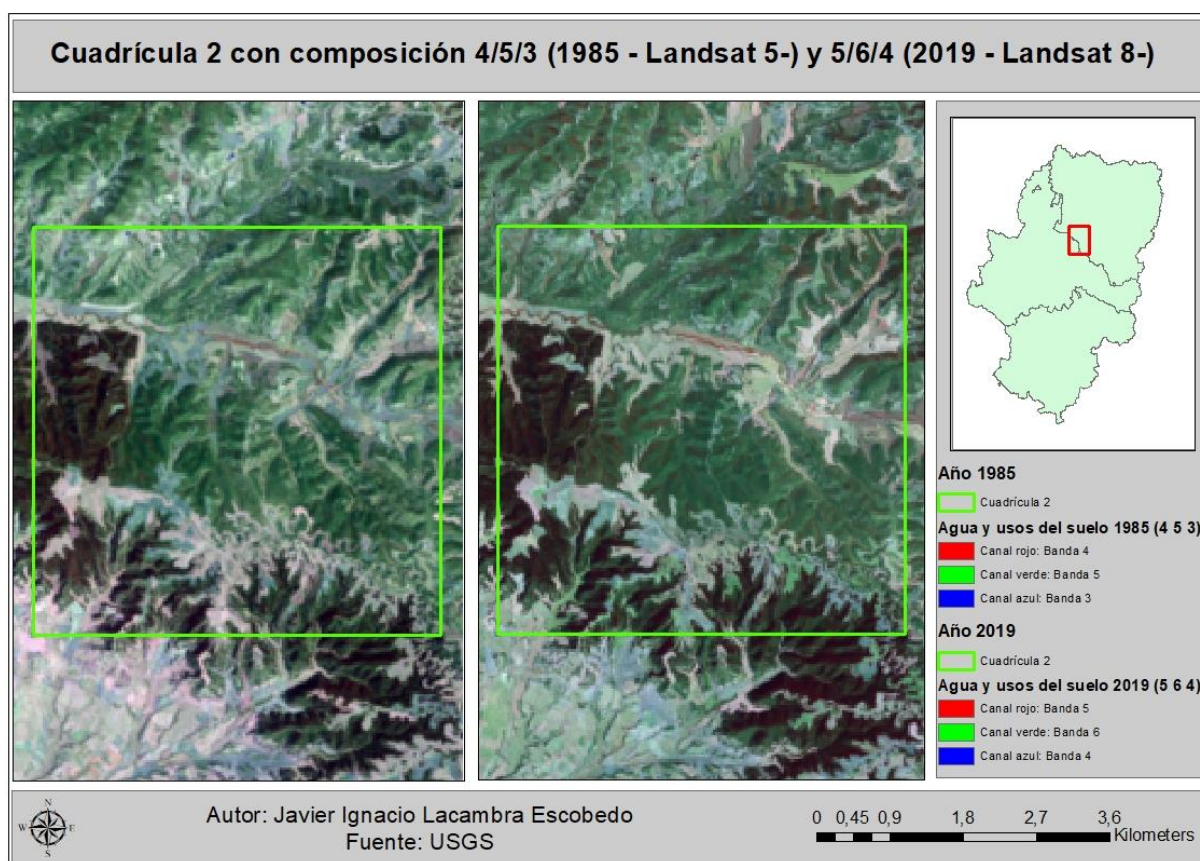


Figura 50: Cuadrícula 2 de Teledetección 1985 y 2019 con 4/5/3 y 5/6/4. Fuente: USGS.

En este caso, a pesar de ser una composición orientada a la identificación agrícola, no nos interesa apreciar la presencia de parcelas. Volvemos a observar una densificación de la vegetación, mayoritariamente de carácter arbustiva, aunque la presencia de tonalidades oscuras de verde nos permite apreciar vegetación arbórea.

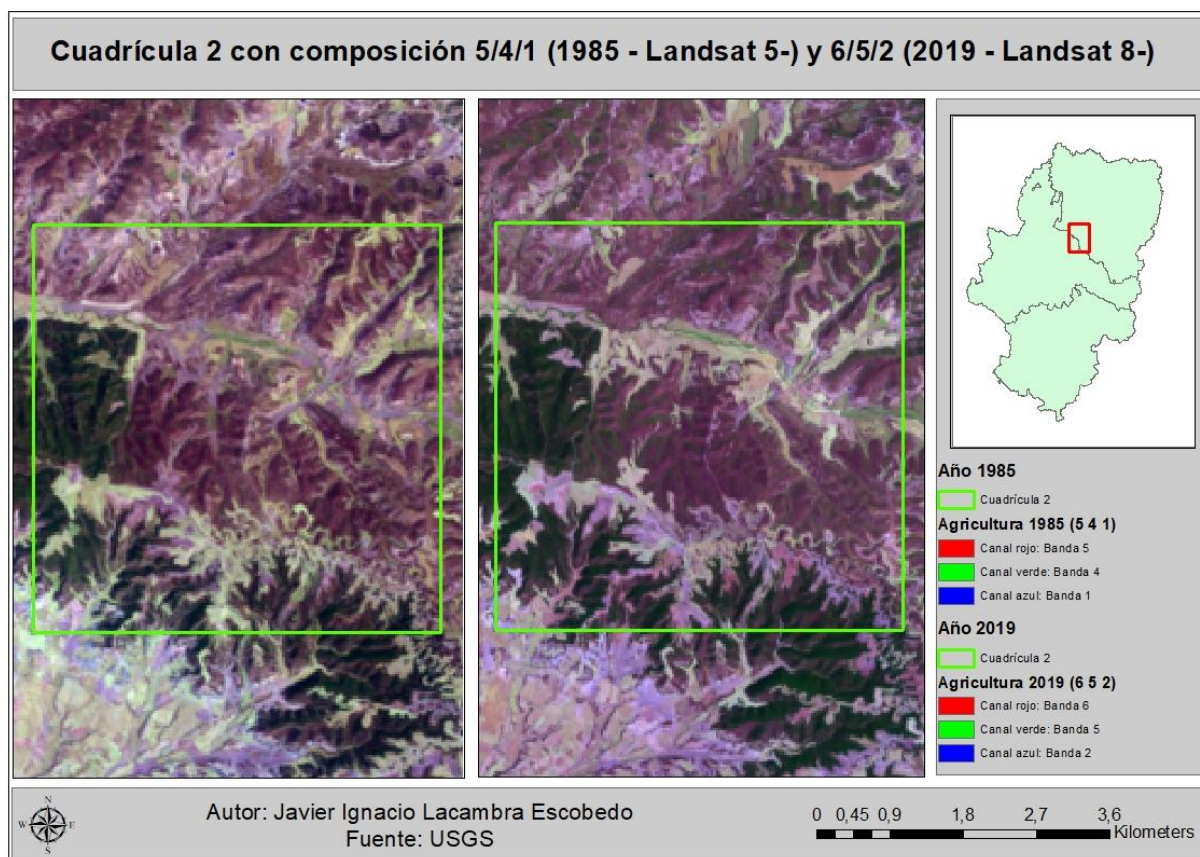


Figura 51: Cuadrícula 2 de Teledetección 1985 y 2019 con 5/4/1 y 6/5/2. Fuente: USGS.

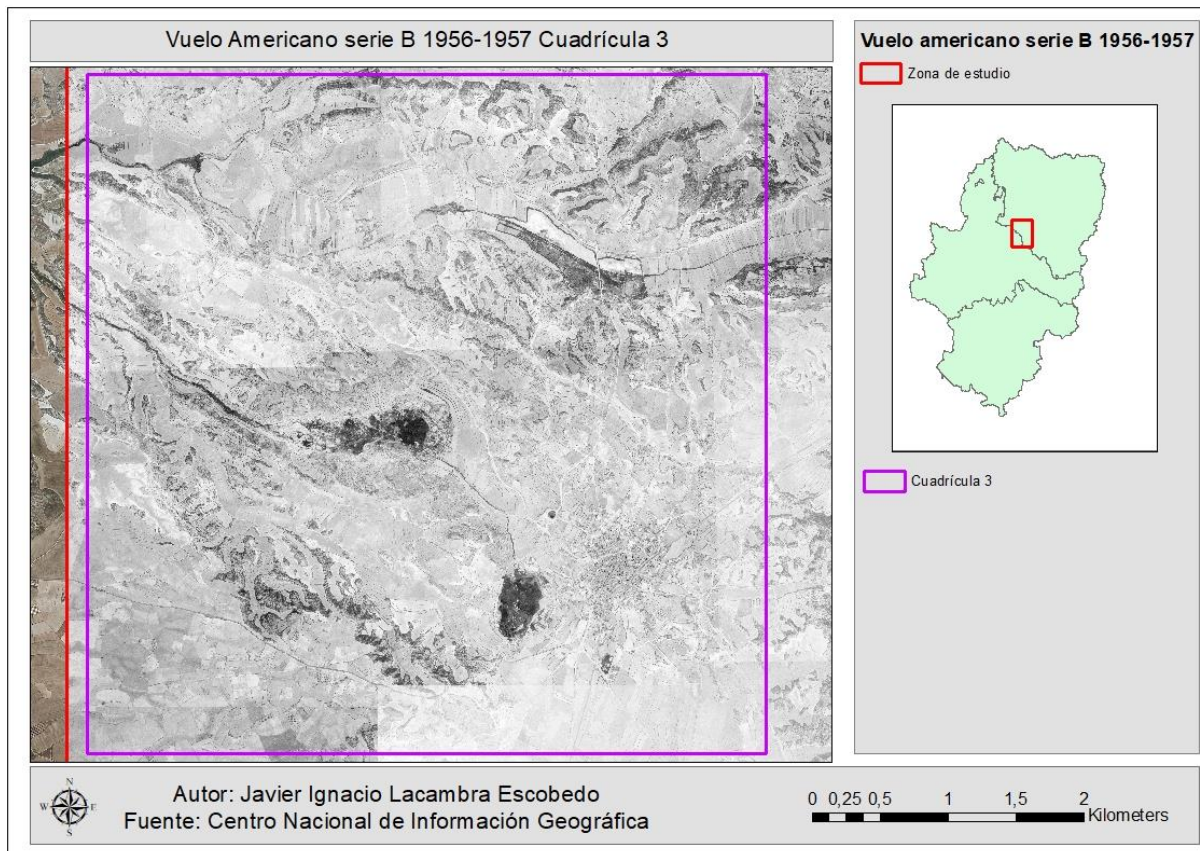


Figura 52: Cuadrícula 3 del vuelo americano serie B 1956-1957. Fuente: CNIG.

4.4.3. Cuadrícula 3: Zona de transición (secano)

La tercera cuadrícula se ubica en el término municipal de Leciñena. Corresponde a la zona de cultivos de secano, anexa al pueblo, muy cerca del límite de la zona de estudio general. La cuadrícula forma parte exclusivamente del término municipal del pueblo.

4.4.3.1. Vuelo americano 1956-1957

Nos encontramos una realidad muy diferente a la descrita en la cuadrícula 1. En este caso, el regadío es muy limitado, correspondiendo casi exclusivamente a pequeños huertos cercanos a la localidad. Se trata de un espacio en el que el parcelario está dedicado al cultivo de secano (no podemos apreciar el tipo en cuestión), siendo fragmentado (salvo algunas excepciones) y en el que solemos encontrar divisiones dentro de las propias parcelas (puede indicar abancalamiento). También se puede visualizar alguna parcela dedicada a frutales, pero es poco común.

El tejido urbano es discontinuo, con pequeñas construcciones (naves agrícolas o casetas) fuera de la localidad, pero muy dispersas y escasas.

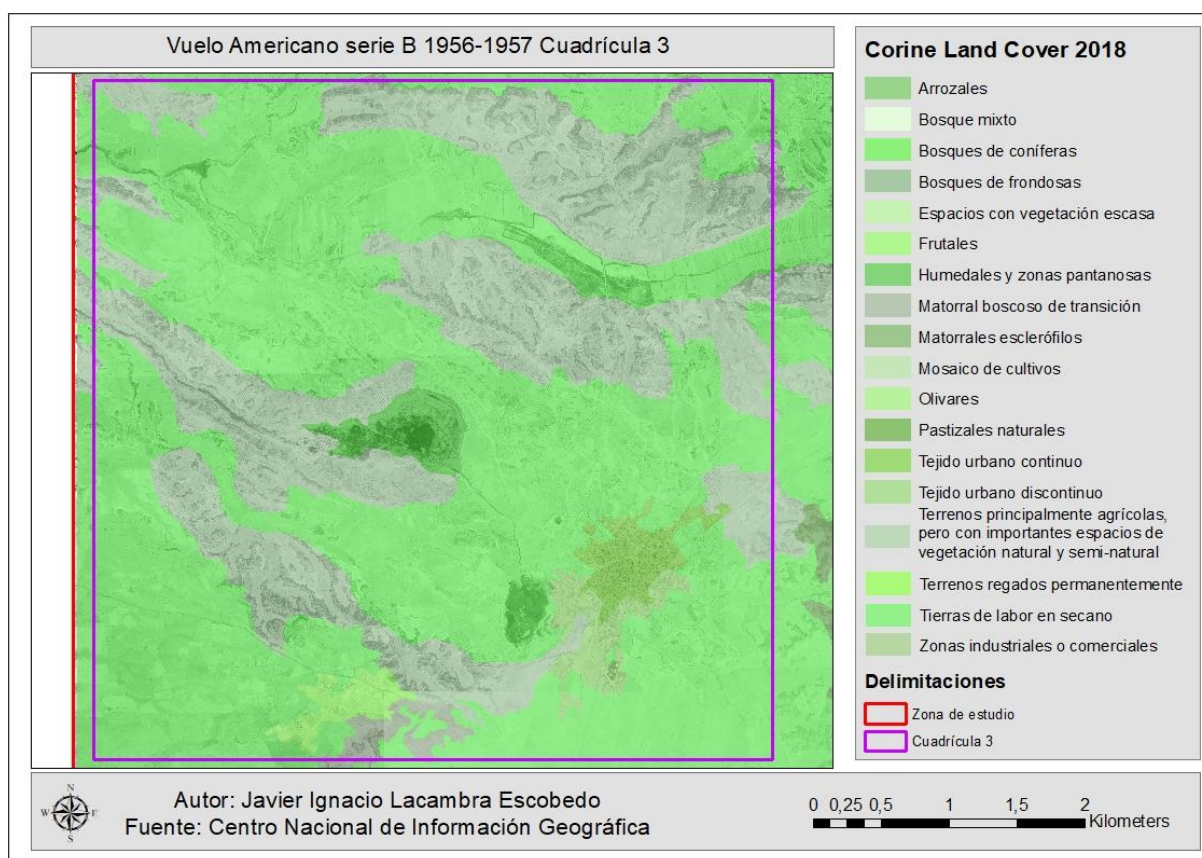


Figura 53: Cuadrícula 3 del vuelo americano con CLC 2018. Fuente: CNIG.

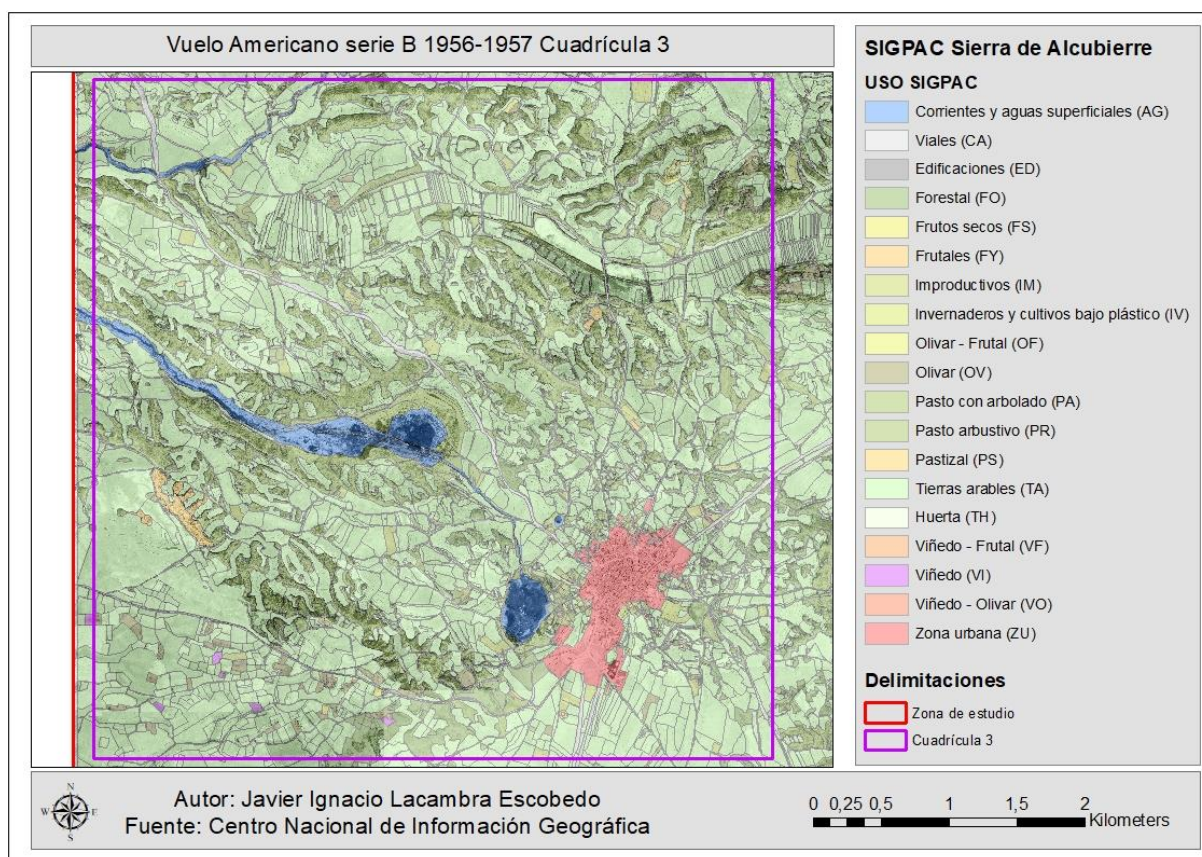


Figura 54: Cuadrícula 3 del vuelo americano con SIGPAC. Fuente: CNIG.

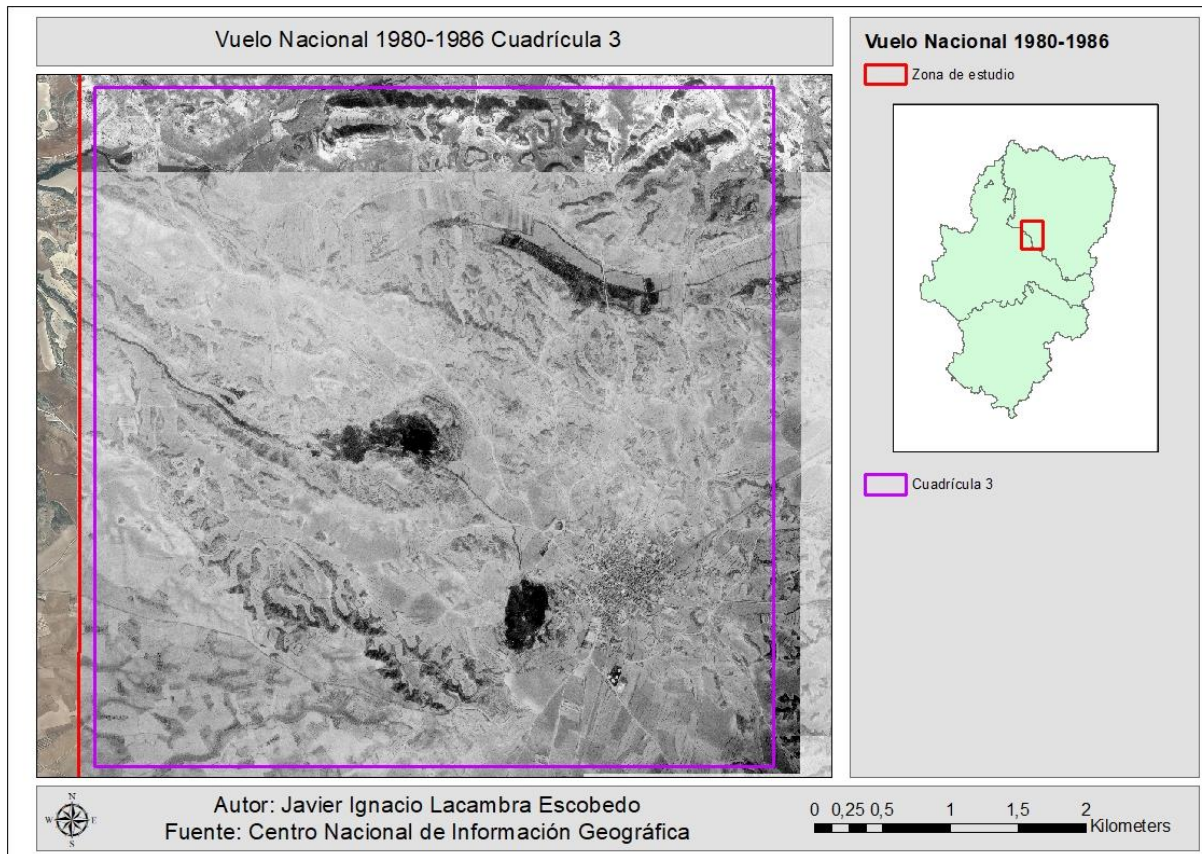


Figura 55: Cuadrícula 3 del vuelo nacional 1980-1986. Fuente: CNIG.

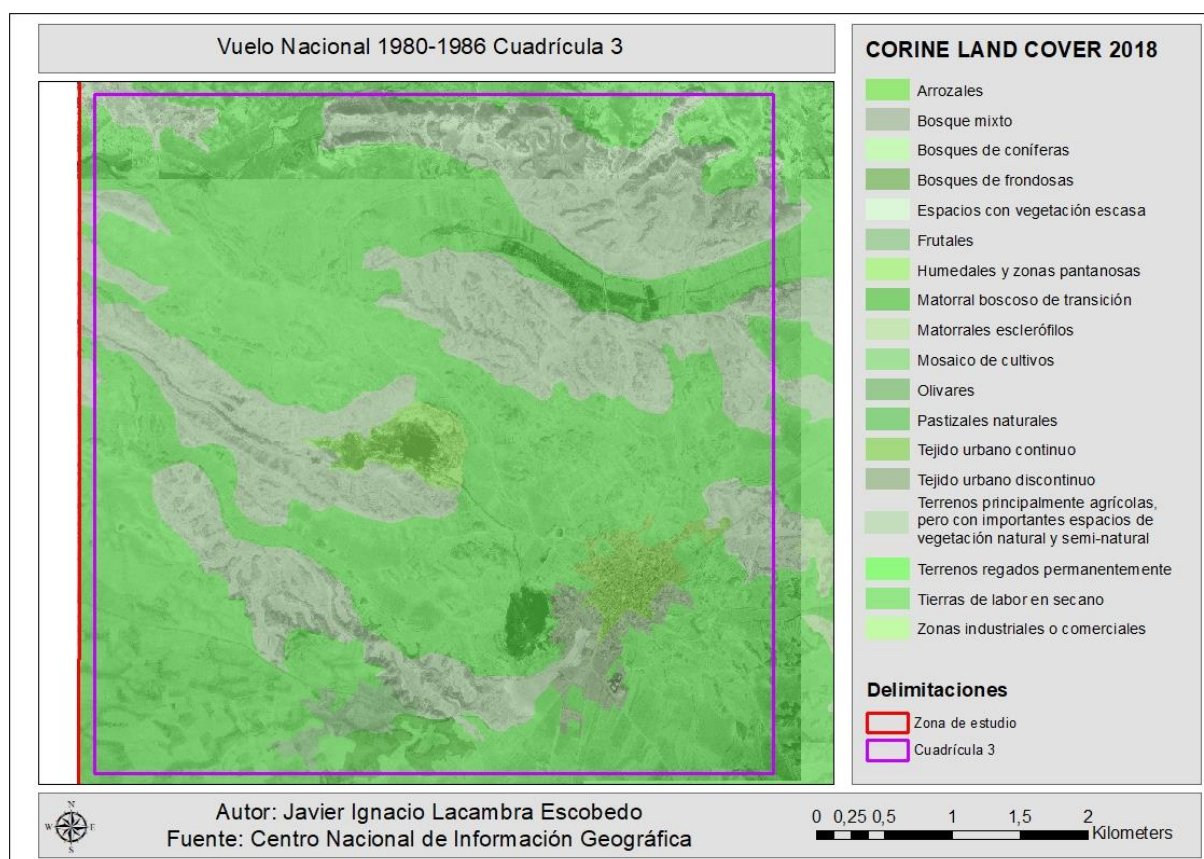


Figura 56: Cuadrícula 3 del vuelo nacional con CLC 2018. Fuente: CNIG.

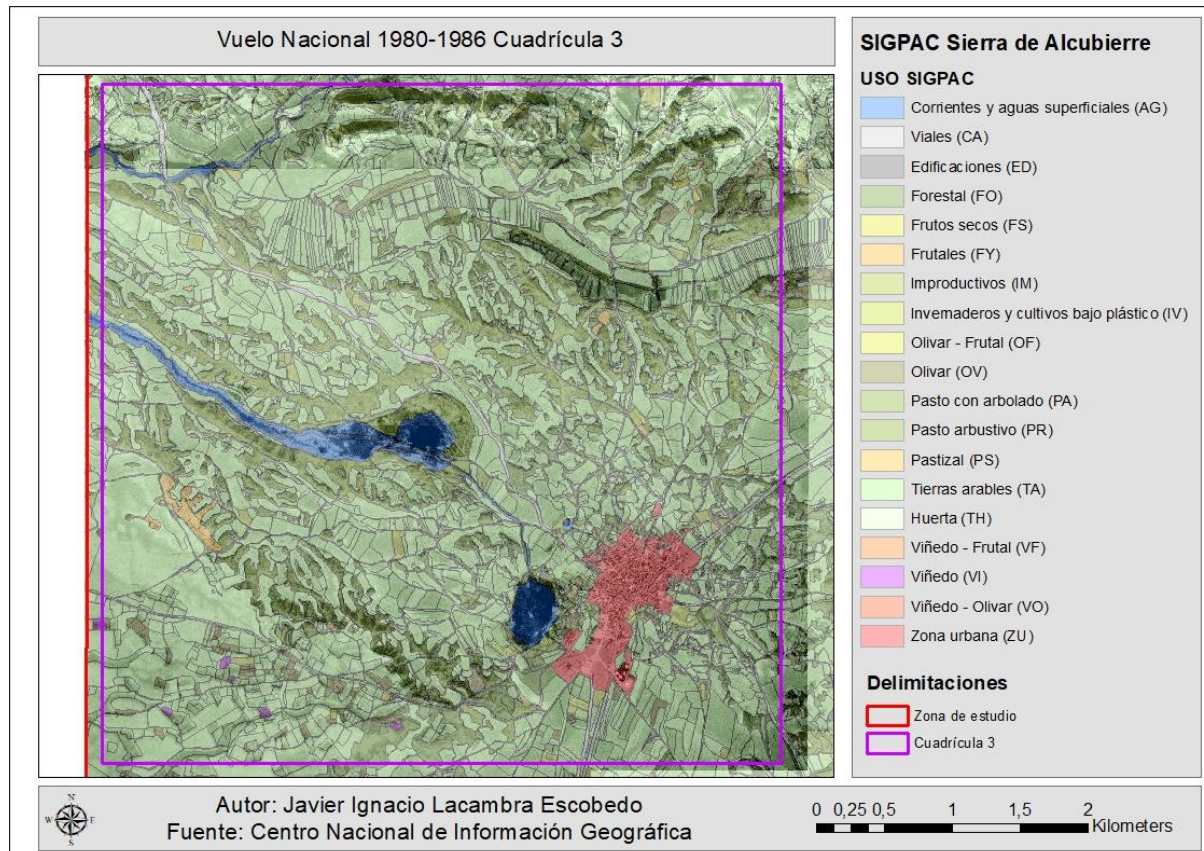


Figura 57: Cuadrícula 3 del vuelo nacional con SIGPAC. Fuente: CNIG.

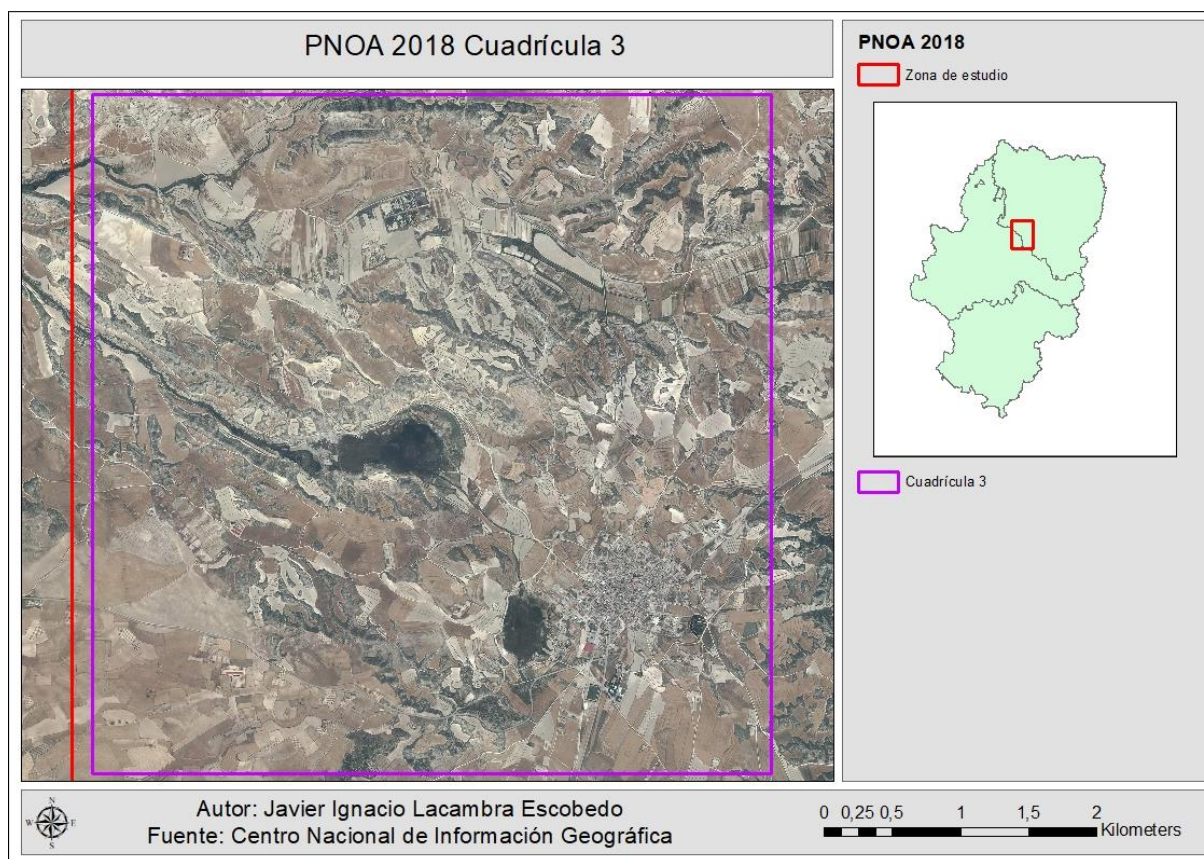


Figura 58: Cuadrícula 3 del PNOA 2018. Fuente: CNIG.

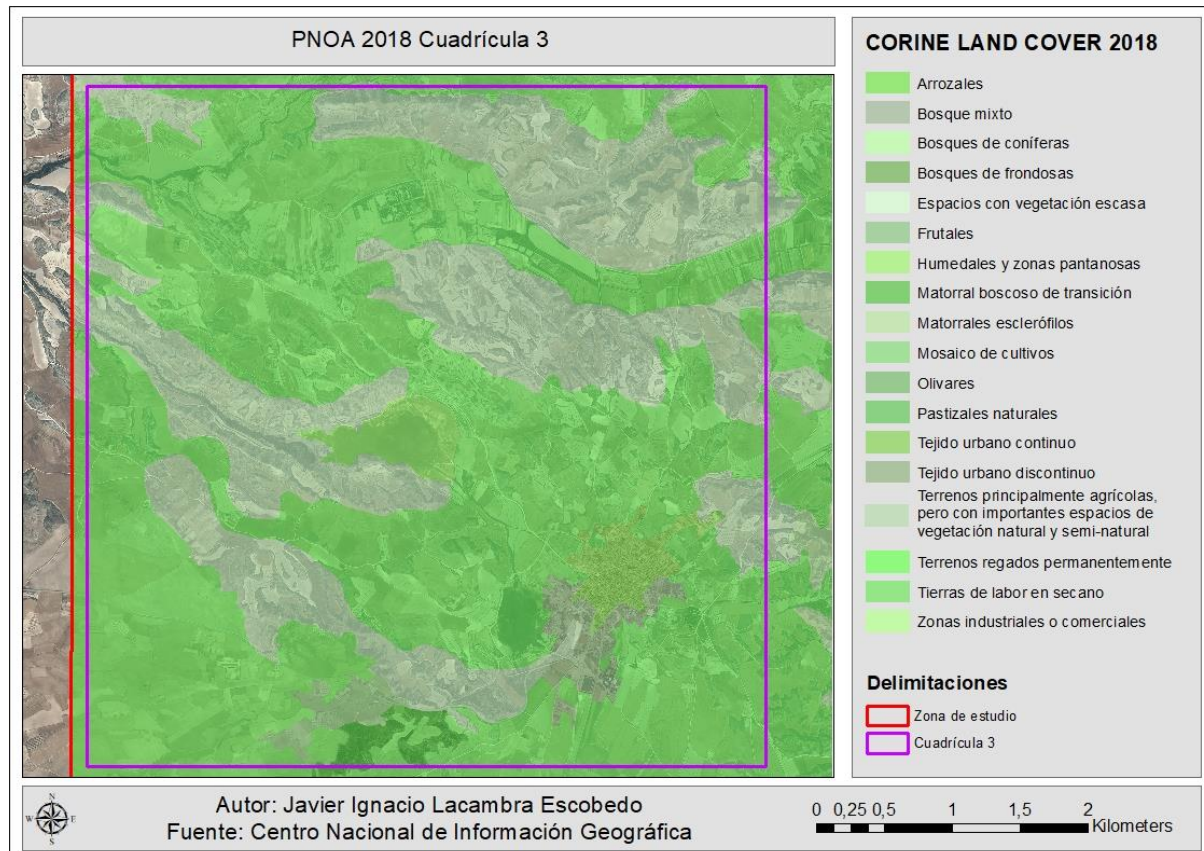


Figura 59: Cuadrícula 3 del PNOA 2018 con CLC 2018. Fuente: CNIG.

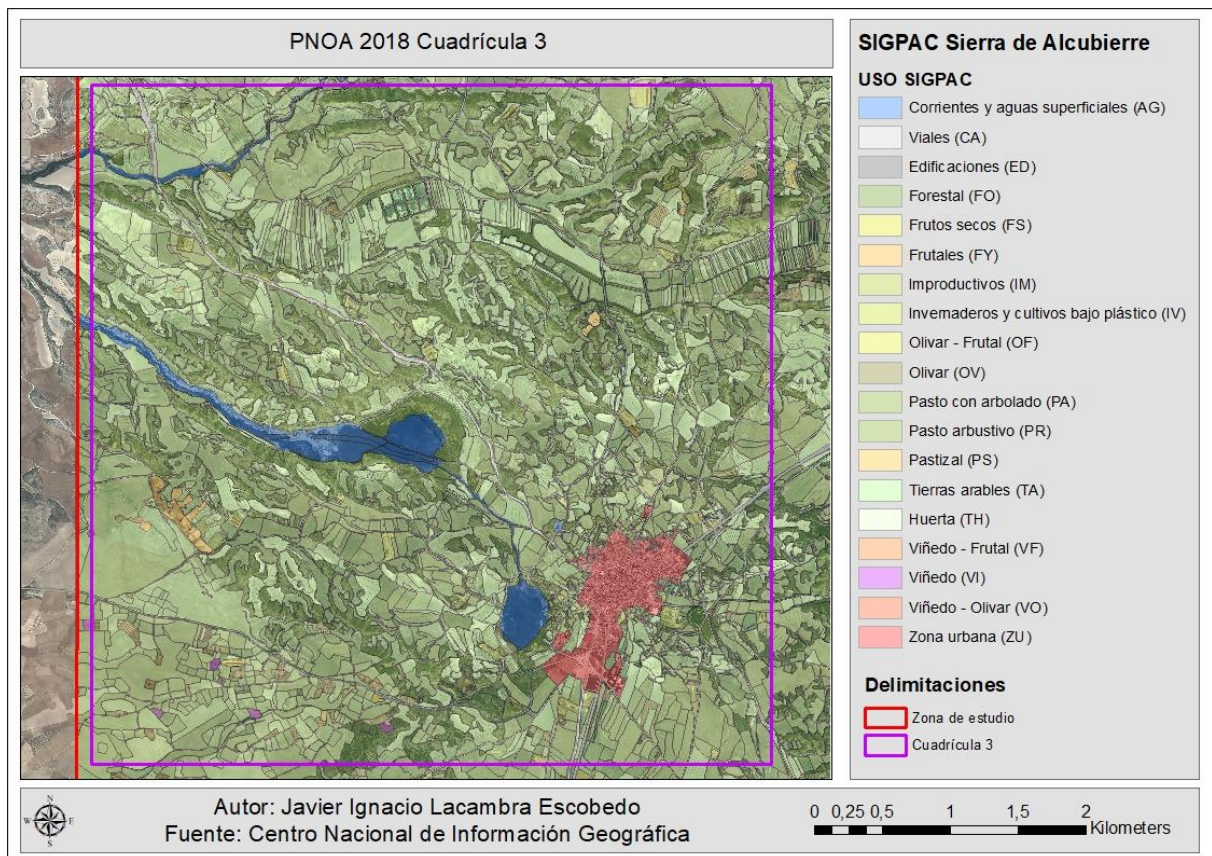


Figura 60: Cuadrícula 3 del PNOA 2018 con SIGPAC. Fuente: CNIG.

4.4.3.2. Vuelo nacional 1980-1986

Apenas se observan cambios importantes. Más allá de una relativa colonización vegetal en la parte superior (residual, en cualquier caso), lo que más puede cambiar es el humedal salino. El dibujo parcelario es muy similar, y no está tan sujeto a cambios como el ubicado en la zona de regadío. Todavía no se han introducido nuevos sistemas de aprovechamiento agrícola, así que la zona no va a presentar una imagen muy diferente a su equivalente en la serie temporal anterior.

4.4.3.3. Plan Nacional de Ortofotografía Aérea 2018

Se puede apreciar de manera evidente el dibujo del parcelario, el cual no ha sufrido transformaciones reseñables (más allá de algún aumento de la superficie de parcelas colindantes). El paisaje no ha cambiado apenas. En este caso, el mosaico parcelario es abrumador.

Con respecto a la clasificación basada en CLC 2018, encontramos dos grandes dominios: “tierras de labor en secano” y “terrenos principalmente agrícolas, pero con importantes espacios de vegetación natural y semi-natural”, los cuales se entremezclan dando el resultado final. También existe matorral boscoso de transición y el humedal.

A nivel SIGPAC, como ya se ha comentado, el parcelario está muy fragmentado, no existiendo un dominio representativo claro.

En el apartado del parcelario, en la actualidad podemos comprobar que, a rasgos generales, muchas de esas concentraciones de parcelas han sido sustituidas por grandes superficies de cultivo, formando campos grandes en los que casi no existen divisiones (se deduce que ha desaparecido el abancalamiento). Los cultivos de frutales también son más comunes.

En el apartado urbanístico encontramos una progresión importante con respecto al tejido urbano descrito. Sigue siendo discontinuo, pero hemos de sumar la aparición de varias urbanizaciones hacia el sur del municipio, así como la proyección de otras nuevas (solares preparados para edificar y con entramado de comunicaciones).

Por la parte industrial, aparecen nuevas naves más concentradas, así como granjas de porcino.

4.4.3.4. Imágenes de teledetección

En la siguiente composición podemos apreciar el dominio de los colores azul y blanco, lo que indica una fuerte presencia de suelo desnudo y de espacios con poca o nula vegetación. Al encontrarnos en un espacio de transición, concretamente de secano, estos colores son completamente normales. La vegetación aumenta en la imagen de Landsat 8, con mayor presencia de colores verdes, marrones, dorados y rojos o rosáceos.

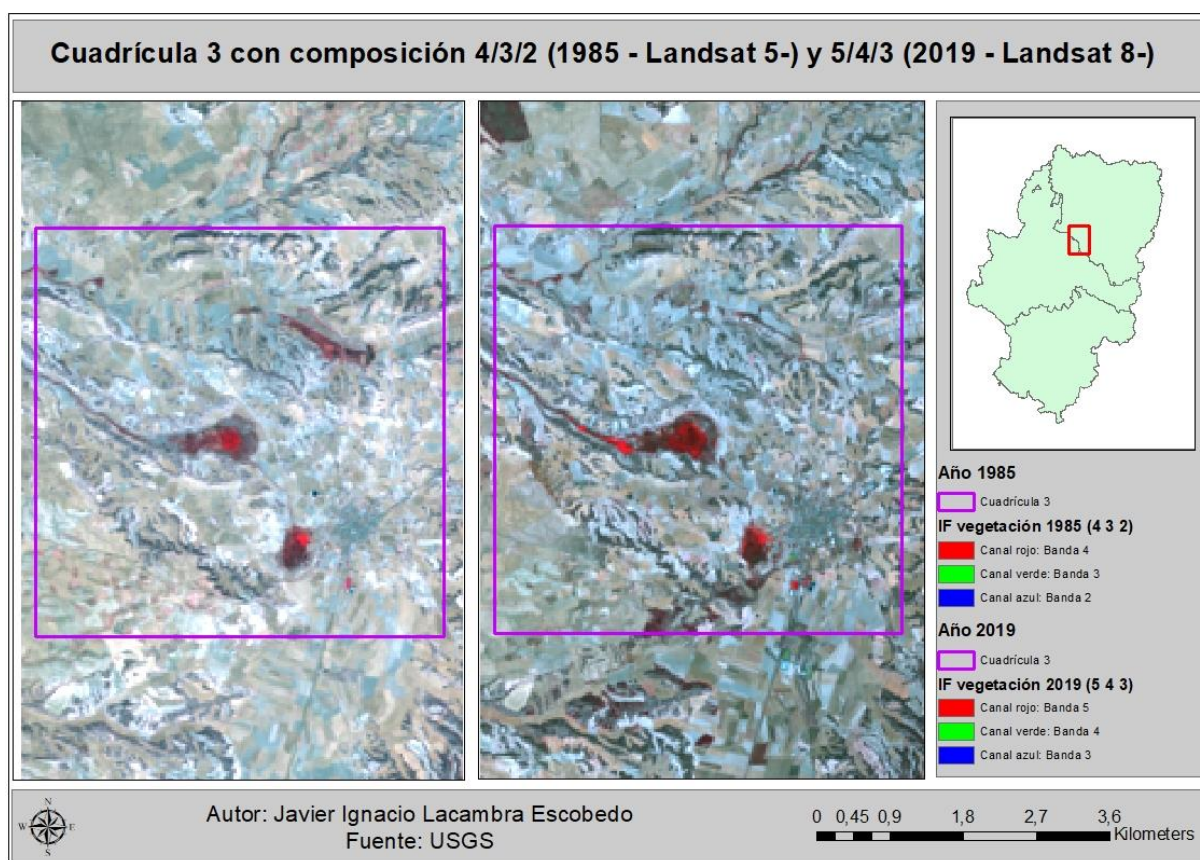


Figura 61: Cuadrícula 3 de Teledetección 1985 y 2019 con 4/3/2 y 5/4/3. Fuente: USGS.

En la composición 4/5/1 (Landsat 5) y 5/6/2 (Landsat 8), se aprecia el aumento del patrón de color azul (suelos), pero también de colores oscuros (vegetación arbustiva). La vegetación sana se reduce casi a la Laguna de Sariñena, apreciándose estrés hídrico en casi la totalidad de ambas imágenes.

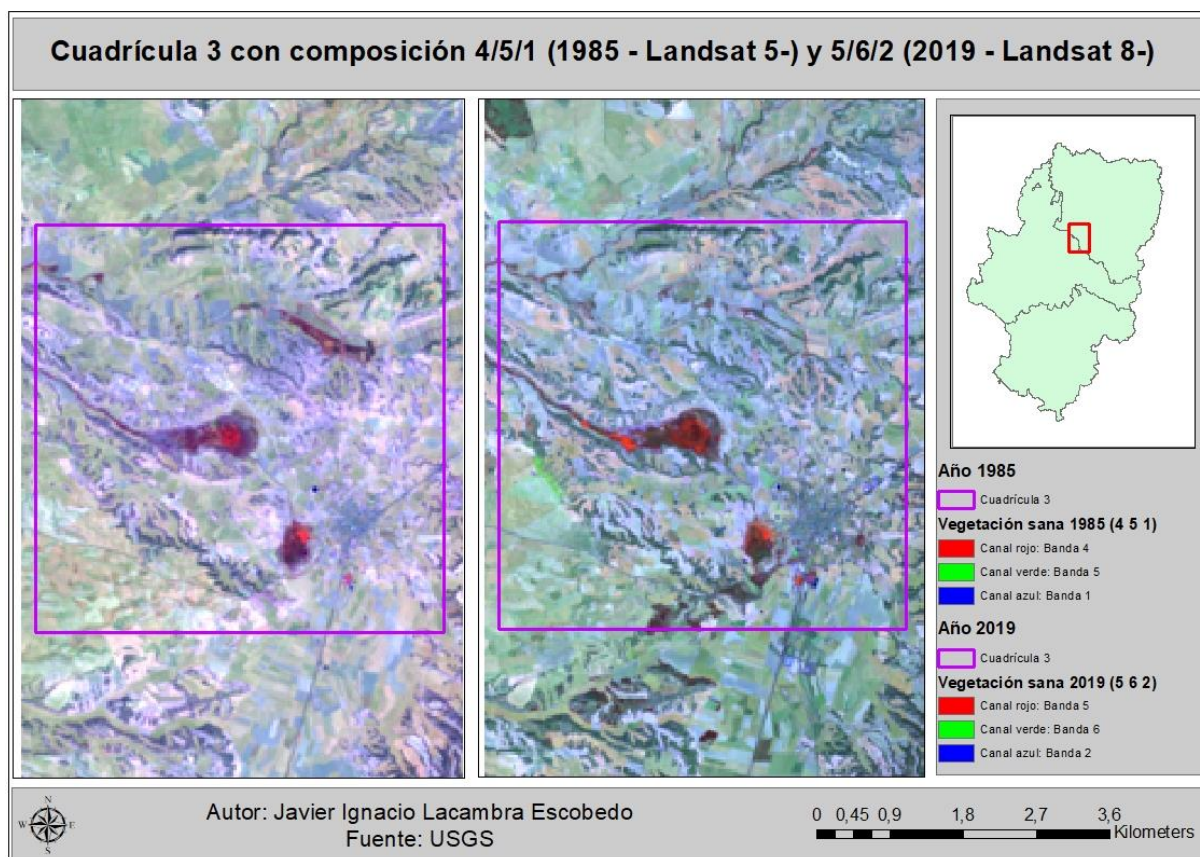


Figura 62: Cuadrícula 3 de Teledetección 1985 y 2019 con 4/5/1 y 5/6/2. Fuente: USGS.

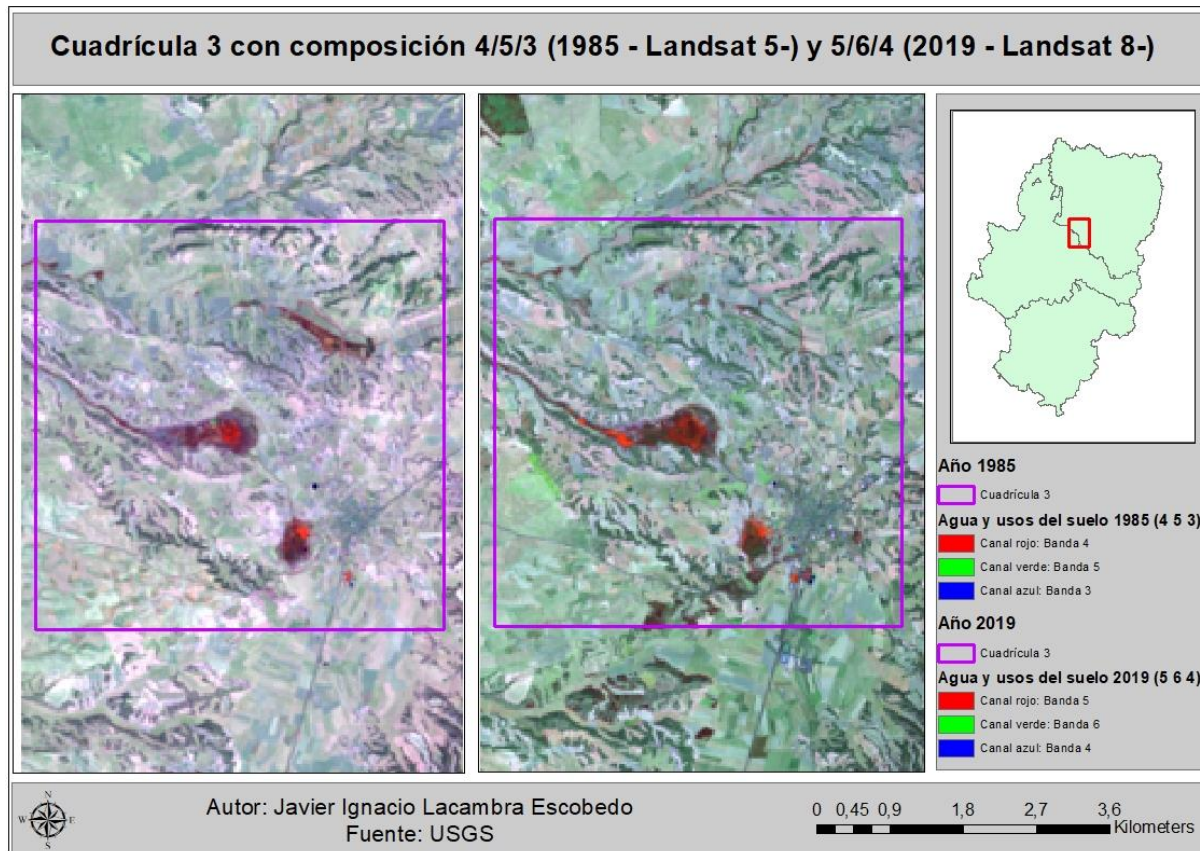


Figura 63: Cuadrícula 3 de Teledetección 1985 y 2019 con 4/5/3 y 5/6/4. Fuente: USGS.

En esta composición, la vegetación se aprecia en tonalidades verdes y marrones, que es bastante importante en la imagen correspondiente a Landsat 8 con respecto a Landsat 5, correspondiendo mayoritariamente a parcelas agrícolas.

Esta composición no es óptima, ya que no nos ofrece información destacable. El paisaje es de cultivos, como bien se puede apreciar.

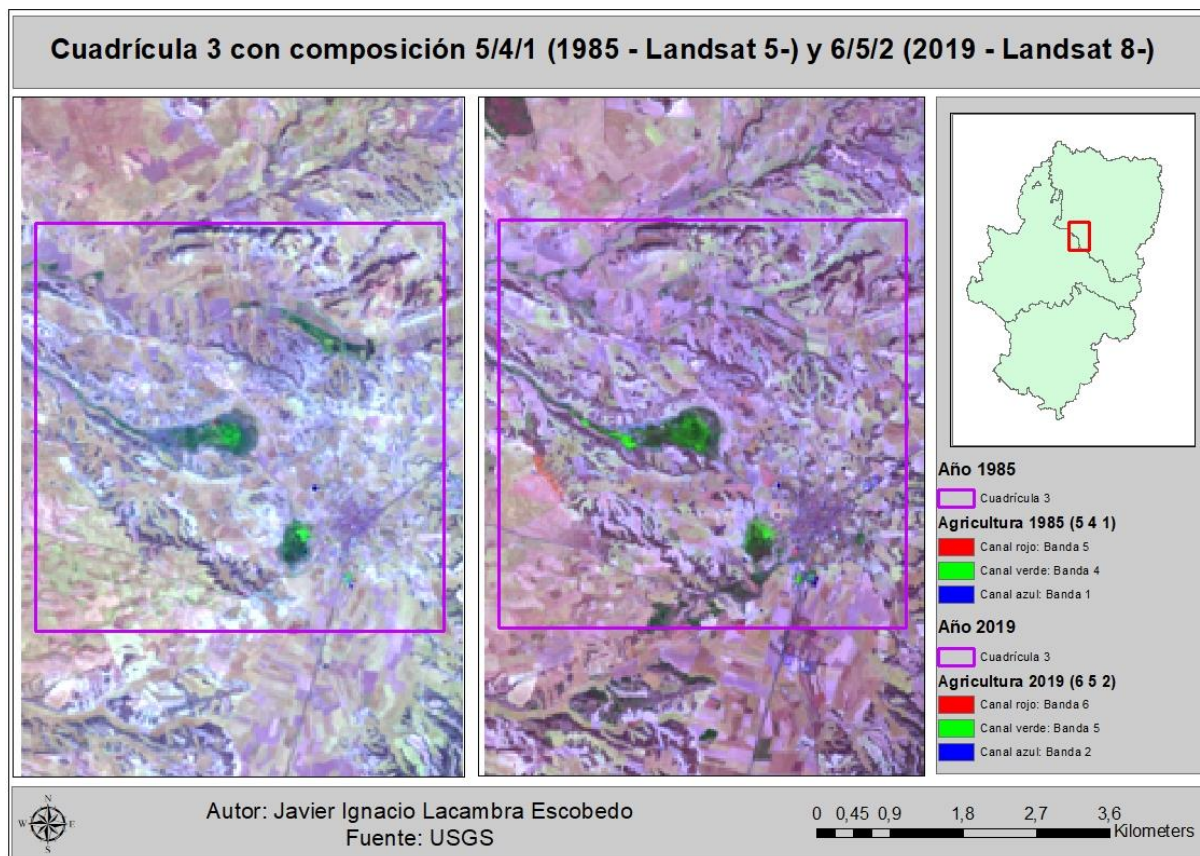


Figura 64: Cuadrícula 3 de Teledetección 1985 y 2019 con 5/4/1 y 6/5/2. Fuente: USGS.

5. Conclusiones

A través de las diferentes técnicas de teledetección, se ha procedido a la identificación y análisis de los siguientes procesos de cambio: usos del suelo; distribución espacial de la vegetación; parcelario agrícola y urbanístico.

Los procesos de cambio en los usos del suelo, detectados y analizados a con la ayuda de la fotointerpretación y digitalización de los resultados a través de la comparativa entre las diferentes series temporales, sí que han tenido una importante variación. Afecta a todas las zonas en las que se ha dividido la zona de estudio, con especial incidencia en las zonas de llanura (regadío), en las que las transformaciones agrícolas son las principales responsables, desapareciendo progresivamente el mosaico de parcelario y cultivos con propiedades segmentadas y numerosas, dando lugar a un mosaico de entidades mayores, no tan fragmentado, debido a la implantación definitiva del regadío moderno y creación de infraestructuras asociadas, así como a la creación de explotaciones ganaderas (principalmente porcino). Existen espacios donde los cultivos han sido sustituidos (ahora apenas podemos encontrar viñedos, siendo muy común en el pasado). La teledetección complementa este análisis mostrando las variaciones en NDVI y TTC, que a pesar de no ser un elemento fundamental en esta conclusión, refuerzan a través de sus variaciones el aumento del aprovechamiento agrícola.

El proceso de cambio en la distribución espacial de la vegetación en el entorno de la Sierra de Alcubierre, se observa muy claramente. Desde la primera serie temporal hasta la última, los procesos de colonización vegetal han sido cada vez más importantes. El paisaje actual demuestra la regeneración natural progresiva, apoyada en la dinámica propia de la vegetación, que no encuentra la oposición causada por las actividades antrópicas derivadas del uso dado al suelo. El escaso o cese del pastoreo (el ganado deja de alimentarse directamente de los pastos), unido al abandono de las propiedades agrícolas (bien por imposibilidad o escasa rentabilidad de la producción o por falta de medios de los herederos), da paso a un lento pero inexorable proceso de recuperación natural. Además, procesos de reforestación artificial (realizados fundamentalmente en Leciñena), dan paso a un paisaje forestal que favorecerá todavía más el desarrollo de la vegetación. En este apartado, la teledetección nos ha ayudado a comprobar que, a través de las diferentes composiciones de color e índices realizados, el aumento de la vegetación es evidente. El NDVI demuestra esta afirmación, comprobada a través de la variación experimentada en los últimos treinta y cinco años, a pesar de que los resultados habrían sido todavía más óptimos de haber dispuesto de recursos de satélite anteriores (habrían mostrado mayores cambios). Además, los índices Tasseled Cap refuerzan esta posición, mostrando el brillo una reflectividad menor, combinado con unos valores de verdor similares (incluso con progresión en algunos casos) y unos valores de humedad que no reflejan pérdidas apenas (los más altos entre los espacios que dependen del aporte hídrico a través de procesos exclusivamente naturales)

En el caso del parcelario agrícola, el cual se encuentra directamente relacionado con los usos del suelo, se concluye que las transformaciones han sido las que han tenido un mayor impacto. En la zona de llanura (regadío), el mosaico existente con pequeñas parcelas, creadas y adaptadas a la orografía del terreno, desaparece en gran medida para dar entrada a grandes superficies de varias hectáreas en muchos espacios, salvando las dificultades del terreno a través de la roturación y modelado artificial gracias a la introducción de las mejoras mecánicas, progresiva y total hasta nuestros días. Este nuevo mosaico incluye superficies adaptadas a las nuevas técnicas de explotación y producción intensiva, incorporando sistemas de aspersión (responsable de la aparición de formas circulares dentro de las parcelas). Las parcelas con menor extensión, generalmente se encuentran cerca de las poblaciones (donde solía haber huertos y pequeñas propiedades). En muchos casos, serán los procesos de concentración parcelaria que están siendo o serán desarrollados los que transformarán definitivamente el paisaje en la zona.

En la zona de transición, las transformaciones han sido reducidas, no yendo más allá de la roturación de las parcelas e instalación de alguna granja de porcino. Al encontrarnos en espacio de secano, el sistema de producción no ofrece tantos beneficios como el de regadío, así que no ha habido lugar para una transformación tan profunda. Los cultivos son rotativos, pero más allá de eso, se entiende que los cambios son mínimos.

En la zona de la Sierra, sí que se concluye que existen transformaciones importantes en el parcelario. El abandono de las parcelas ha hecho que apenas puedan distinguirse los límites de las mismas, colonizadas por la vegetación. Por otra parte, las que todavía siguen estando sometidas a procesos de producción han visto aumentados sus límites a través de roturación. Realmente, si existiesen registros visuales previos al proceso de creación de las parcelas en el siglo XIX, podríamos ver con mayor exactitud el proceso de cambio completo y establecer comparaciones con respecto al proceso actual (reversión).

El proceso de cambio urbano no ha sido tan importante como se podría esperar. El aumento de la superficie de las poblaciones existentes se reduce a alguna urbanización creada. Sin embargo, el proceso de creación de pueblos de colonización sí que tiene impacto a través de las series temporales. Los que se estaban creando han sido finalizados, al igual que los que todavía estaban en proyecto en

1956-1957. Paralelo a ello, en algunos municipios se han ido desarrollando pequeñas industrias en las zonas anexas, asociadas generalmente al sector agrícola, a pesar de que casi no ha cambiado la ocupación de los municipios.

6. Bibliografía

- Alares López, G. (2003): *Trabajo agrícola y estrategias productivas en un núcleo de colonización. San Jorge (Huesca), 1956-1971*. Zaragoza: CHLA.
- Castelló Puig, A. (1989): *Propiedad, uso y explotación de la tierra en la comarca de los Monegros oscenses*. Huesca: IEA.
- Chuvieco Salinero, E (2002): *Teledetección Ambiental. La observación de la Tierra desde el espacio*. Barcelona: Ariel Ciencia.
- Chuvieco Salinero, E (1996): *Fundamentos de Teledetección espacial*. Madrid: Rialp.
- Chuvieco Salinero, E. (1996). *Empleo de imágenes de satélite para medir la estructura del paisaje: Análisis cuantitativo y representación cartográfica*. Serie geográfica 1996, vol 6, pp. 131 – 147.
- De la Riva Fernández, J. (1990): *La política de concentración parcelaria en Aragón*. *Revista de Estudios Agrosociales*, 151. pp 191-23
- Gil Gascón, V. (2000): *Transformaciones paisajísticas ligadas a la puesta en riego en la zona de la Violada (Monegros I)*. Proyecto de Fin de Carrera. Universidad de Zaragoza.
- Gómez Benito, C. (2003): *La colonización agraria en España y Aragón 1939-1975*. Ayuntamiento de Alberuela de Tubo.
- Moncayola Laviña, D. (2018): *Cambios en los usos de suelo y en el parcelario agrícola en el sureste de Monegros. Análisis mediante fotointerpretación 1927-2015*. Trabajo Fin de Grado. Universidad de Zaragoza.
- Monclús Fraga, F.; Oyón Bañales, J. (1983): *Colonización agraria y urbanismo rural en el siglo XX. La experiencia del Instituto Nacional de Colonización*. Ciudad y Territorio.
- Pedrocchi, C. (1998): *Ecología de Los Monegros. La paciencia como estrategia de supervivencia*. Instituto de Estudios Altoaragoneses y Centro de Desarrollo de Monegros, Huesca.
- Peperkamp, G. (1979): *Las actividades colonizadoras del I.N.C./IRYDA en las zonas de Ejea y de la Violada (Cuenca del Ebro) antes de 1974*. Gphi.
- Romero Cabezudo, S. (2019): *Análisis ambiental y detección de cambios en el recubrimiento vegetal de la comarca del Matarraña mediante teledetección y SIG: dinámica multitemporal en los campos abandonados (1986/2018)*. Trabajo Fin de Grado. Universidad de Zaragoza.
- Sabio Alcutén, A. (2008): *La colonización agraria en Aragón, 1940-1985*. Zaragoza.
- Sabio Alcutén, A. (1996): *Tierra, trabajo y colonización interior en Huesca, 1940-1965*. Zaragoza.
- Sabio Alcutén, A. (2008): *Agua, territorio y colonización agraria en Aragón bajo el franquismo*. Zaragoza.
- Serrano Bolea, J. (2018): *Fauna de una sierra de Monegros (Guías De La Naturaleza)*. Zaragoza: Ediciones Prames S.L.

Recursos en línea:

CNIG (2020): *Centro de Descargas del Centro Nacional de Información Geográfica*. <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas>

Instituto Aragonés de Estadística (2020): *Estadística local*.
<http://www.aragon.es/DepartamentosOrganismosPublicos/Institutos/InstitutoAragonesEstadistica/AreasGenericas/ci.EstadisticaLocal.detalleDepartamento>

Comarca de Los Monegros (2005): Publicaciones electrónicas del Gobierno de Aragón.
http://bibliotecavirtual.aragon.es/bva/i18n/catalogo_imagenes/grupo.cmd?path=3600214

Colonización en Monegros: <http://www.casahelvetica.com/pueblos-de-colonizacioacuten-de-los-monegros.html#:~:text=Monegros%20es%20la%20comarca%20aragonesa,de%20Santa%20Ana%20y%20Orillena.&text=En%20Los%20Monegros%2C%20se%20fundaron,llegaron%20a%20tener%203.760%20habitantes>